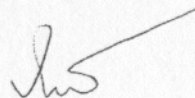


Автореферат Н
451

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ХОЛОДУ

ЯЛПАЧИК ВОЛОДИМИР ФЕДОРОВИЧ



УДК 624.86.004

**РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ
ЗАМОРОЖУВАННЯ ТА НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОГО ЗБЕРІГАННЯ
ПЛОДОВООВОЧЕВОЇ СИРОВИНИ**

05.18.13 – технологія консервованих і охолоджених харчових продуктів

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Херсонському національному технічному університеті Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України

Науковий консультант - доктор технічних наук, професор
Чурсіна Людмила Андріївна
Херсонський національний технічний університет,
завідувач кафедри переробки, стандартизації і
сертифікації сировини

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Тележенко Любов Миколаївна Одеська національна академія харчових технологій, завідувач кафедри технології ресторанного і оздоровчого харчування

доктор технічних наук, професор
Орлова Наталія Язепівна Київський національний торговельно-економічний університет, професор кафедри товарознавства та експертизи харчових продуктів

доктор технічних наук, професор
Дейниченко Григорій Вікторович Харківський державний університет харчування та торгівлі, завідувач кафедри устаткування підприємств харчування

Захист відбудеться "19" листопада 2012 року о 14⁰⁰ годині в ауд. 108 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.087.01 при Одеській державній академії холоду, за адресою: вул. Дворянська, 1/3, м. Одеса, Україна, 65082.

Дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці ОДАХ за адресою вул. Дворянська, 1/3, м. Одеса, Україна, 65082.

Звісною надісланий "12" жовтня 2012 р.

спеціалізованої вченої ради

професор

В.І. Мілованов

заступник

головного

заступника

заступника

заступника

заступника

заступника

заступника

заступника

XV 1320
ІНСТИТУТ ХОЛОДА
ОНАХТ
бібліотека

1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

ГАЛУЗЕВИЙ ВІДДІЛ

Забезпечення необхідного рівня продовольчої безпеки держави вимагає не тільки розвитку агрокультури основних сільськогосподарських культур, підвищення їх урожайності та екологічної чистоти, але і розвитку постурожайних технологій, технічних засобів та підприємств для довготривалого зберігання харчової сировини і продуктів як з малими втратами маси, так і з мінімальними втратами показників їх харчової цінності.

Крім класичних технологій консервування плодовоовочевої продукції з використанням підвищених температур, сьогодні використовується технологія зберігання в замороженому стані, яка для своєї реалізації потребує суттєво менших енерговитрат при відносно такому ж, або більш високому рівні збереження харчової якості сировини.

Актуальність теми. Через недосконалість існуючих методів встановлення оптимальних режимів заморожування значно знижується якість замороженої продукції та збільшується енергоємність технологічних процесів заморожування.

Вченими далекого та близького зарубіжжя Е. Алмаши (Угорщина), А.Г. Фікіїним (Болгарія), Куцаковою В.С., Роговим Й.О., Головкіним М.О. (Росія), Чумаком І.Г., Оніщенко В.П., Тележенко Л.М., Орловою Н.Я. (Україна) зроблено великий вклад у розвиток фундаментальних і науково-технічних досліджень процесів холодильної обробки, технології і устаткування швидкого заморожування, але до цього часу для встановлення оптимальних режимів заморожування тих чи інших продуктів застосовувались розрахунки терміну заморожування та енерговитрат з великими допусками значень теплофізичних характеристик продуктів, що призводило до значних похибок у реалізації технологічних процесів при заморожуванні сировини з різними фізичними параметрами та хімічним складом.

Враховуючи вищевикладене, важливим і актуальним у розвитку наукових основ технологічних процесів заморожування плодовоовочевої сировини є встановлення закономірностей змін теплофізичних характеристик сировини в залежності від її фізичних, хімічних властивостей у широкому діапазоні температурних параметрів, що дозволить спрогнозувати термін та енергозатрати технологічного процесу заморожування.

Зв'язок дисертації з науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконана в рамках програми „Розробка наукових основ систем технологій і технічних засобів для забезпечення продовольчої безпеки південного регіону України“. Номер державної реєстрації 0102U000680 (2002 р.).

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є розвиток наукових основ, необхідних для вирішення важливої народно-господарчої проблеми – розробки технологічних процесів і енергозберігаючих режимів заморожування і низькотемпературного зберігання плодовоовочевої продукції. Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні основні завдання:

- провести системний аналіз існуючих методів, технологій та техніки холодильної обробки і холодильного зберігання плодів, овочів та ягід з метою розширення термінів їх споживання;

- визначити та розрахувати теплофізичні характеристики плодовоовочевої сировини, які можуть бути теоретичним підґрунтям для математичного моделювання технологічних процесів заморожування і довготривалого зберігання плодовоовочевої продукції;

- дослідити та проаналізувати закономірності протікання процесу заморожування плодоовочевої сировини експериментальним шляхом у рідкому киплячому азоті, в насиченій парі азоту, в розсолі, у повітрі з одержанням кривих $T(x)-t$ значень температури $T(x)$ в координаті x для різних моментів часу t , процесів розморожування замороженої сировини у повітрі, у воді, в тому числі і під тиском;

- розробити методику розрахунку узагальненого показника якості замороженої плодоовочевої сировини в кінці її довготривалого зберігання з урахуванням органолептичних, біохімічних та фізико-механічних оцінок;

- провести експериментальні дослідження змін фізико-механічних та біохімічних характеристик плодоовочевої сировини в процесі її заморожування та довготривалого зберігання у замороженому стані;

- визначити або розрахувати необхідну холодопродуктивність конвеєризваної охолоджуючої системи для впровадження встановлених режимів процесів заморожування, сформулювати нелінійну математичну модель і реалізуючий її розрахунковий алгоритм для одержання температурних полів та теплових потоків в часі процесів охолодження і заморожування різних видів плодоовочевої сировини;

- розробити технологічні рекомендації щодо промислового впровадження розроблених енерго- та ресурсозберігаючих технологій заморожування та довготривалого зберігання плодоовочевої сировини в замороженому стані;

- розробити техніко-економічне обґрунтування доцільності здійснення у промислових об'єктах розроблених режимів заморожування та зберігання у замороженому стані конкретних видів плодоовочевої сировини, здійснити оцінку собівартості такої сировини в залежності від об'ємів та термінів зберігання.

Об'єкт дослідження – тепломасообмінні процеси заморожування та довготривалого зберігання плодоовочевої сировини.

Предметом дослідження являються різні види та сорти плодоовочевої сировини у свіжому, замороженому та розмороженому стані.

Методи дослідження: фізико-математичне моделювання теплофізичних властивостей різних видів плодоовочевої сировини та процесів тепломасообміну при її холодильній обробці і зберіганні; експериментальні методи аналізу фізико-хімічних, фізико-механічних, біохімічних та мікробіологічних змін у плодоовочевій сировині; методи статистичного, кореляційного та регресійного аналізу експериментальних даних; методи обчислювальної математики, алгоритмізації розрахунків та програмування на мові „Turbo Pascal“, методи техніко-економічного аналізу ефективності промислових технологій.

Наукова новизна одержаних результатів.

- Розвинуті наукові основи енергозберігаючих технологій процесів охолодження і заморожування різних видів плодоовочевої сировини, які базуються на використанні інтерполяційної моделі і реалізуючого її комп'ютерного алгоритму, зокрема, на розрахунку температурних полів та теплових потоків з поверхні об'єктів холодильної обробки в часі.

- Вперше запропоновано з метою зниження енергозатрат на процеси заморожування та довготривале низькотемпературне зберігання застосовувати теоретично розрахований термін заморожування в залежності від значень питомої теплоємності, ентальпії, густини, теплопровідності та розподілу температурних полів різної плодоовочевої продукції.

- Вперше теоретично обґрунтований вибір типів швидкоморозильних апаратів або характеристик тунелів та розрахунок їх експлуатаційних характеристик на основі розробленої математичної моделі процесів заморожування та кількісної оцінки необхідної холодопродуктивності конвеєризваної охолоджувальної системи.

- Одержали науковий розвиток теоретичні основи визначення комплексної оцінки фізико-механічних, біохімічних та органолептичних показників якості плодоовочевої продукції у процесі заморожування та довготривалого зберігання, а саме, запропоновані структура та розрахунок комплексного показника якості з оцінкою вагомості окремих його складових, який рекомендується застосовувати для встановлення якісних змін плодоовочевої продукції у процесі зберігання у замороженому стані.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечується коректною постановкою завдань і перевіркою адекватності теоретичних моделей та експериментальних даних, використанням сучасних математичних методів, програмних засобів розв'язання завдань ідентифікації моделей рівнянь; порівняння з наявними експериментальними даними в межах похибки спостережень.

Практичне значення одержаних результатів. Подані в роботі наукові дослідження реалізовані в нових способах заморожування та розморожування плодоовочевої продукції з застосуванням підвищеного тиску та оптимальним терміном заморожування, що дозволило зберегти якісні показники продукції з необхідними фізико-механічними та біохімічними характеристиками за енергозберігаючим режимом заморожування.

Створено науково обґрунтовану технологію заморожування та розморожування кабачків, кукурудзи молочно-воскової стиглості, баклажанів, гарбуза, перцю солодко-го та винограду, яка базується на теоретично визначених режимах заморожування.

Розроблені технологічні схеми заморожування та довготривалого низькотемпературного зберігання впроваджені в холодильних камерах ТОВ ВКФ „Мелітопольська черешня“, та в державному підприємстві – дослідному господарстві «Мелітопольське» Мелітопольської дослідної станції садівництва ім. М.Ф. Сидоренка. Крім того розроблені технологічні інструкції з виробництва заморожуваних кабачків і гарбуза, кукурудзи молочно-воскової стиглості.

Особистий внесок дисертанта полягає в постановці і обґрунтуванні завдань, виборі об'єкту і методів дослідження, організації та проведенні наукових досліджень, узагальненні отриманих результатів, формуванні висновків і науково обґрунтованих рекомендацій виробництву, впровадженні у виробництво розроблених технологічних процесів зберігання баклажанів, перцю, гарбуза, кукурудзи молочно-воскової стиглості і винограду сорту „Молдова“, здійсненні авторського нагляду за впровадженням. Автором розроблені способи визначення якості при зберіганні плодів за зміною їх фізико-механічних властивостей.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи було представлено на науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу (м. Мелітополь, Таврійський державний агротехнологічний університет, 2004-2012 р. р.), на Міжнародній науково-технічній конференції „Сучасні проблеми землеробної механіки“ (секція переробки і зберігання сільськогосподарської продукції, м. Вінниця, Вінницький державний аграрний університет, 2004 р.), на Міжнародній конференції „Стан і перспективи розвитку переробної галузі АПК“ (м. Мелітополь, Таврійський державний агротехнологічний університет, 2005-2011 р. р.),

на VII Міжнародній науково-практичній конференції „Наука і освіта 2005“ (м. Дніпропетровськ, 2005 р.), на Міжнародному науково-практичному форумі „Теорія і практика розвитку АПК“ (м. Львів, Львівський державний аграрний університет, 2006 р.), на V ювілейній Міжнародній науково-технічній конференції (MOTROL 2005 Люблін-Одеса, Одеський державний аграрний університет, 5-10 вересня, 2005 р.), на науково-технічній конференції MOTORYZACIA I ENERGETYKA ROLNICTWA, Lublin, 2006 р.), на науково-практичній конференції (м. Харків, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка, 2006 р.), на Міжнародній науково-практичній конференції „Проблеми та перспективи розвитку аграрної механіки“ (м. Дніпропетровськ, Дніпропетровський державний аграрний університет, 2004 р.), на розширених засіданнях кафедри переробки, стандартизації і сертифікації сировини Херсонського національного технічного університету (м. Херсон, 2005-2011 р. р.). На Всеукраїнському науково-технічному семінарі „Удосконалення малої хладотеплотехніки і забезпечуванню нею технологічних процесів“ (м. Донецьк, Донецький національний університет економіки і торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського, 11-12 вересня 2008 р.), на IV міжнародному форумі молоді „Молодь і сільськогосподарська техніка в XXI“ (м. Харків, Харківський національний університет сільського господарства ім. Петра Василенка, 3-4 квітня 2008 р.), на VIII Міжнародній науково-практичній конференції „Сучасні напрями технології та механізації процесів переробки і харчових виробництв“ (м. Харків, Харківський національний університет сільського господарства ім. Петра Василенка, 30-31 жовтня 2008 р.), на V Міжнародному форумі молоді „Молодь і сільськогосподарська техніка в XXI“ (м. Харків, Харківський національний університет сільського господарства ім. Петра Василенка, 2-3 квітня 2009 р.), на Міжнародній науково-практичній конференції „Сучасні проблеми холодильної і криогенної техніки“ (м. Одеса, Одеська національна академія харчових технологій, 19-21 травня 2009 р.), на X Міжнародній конференції пам'яті академіка П.М. Василенка „Сучасні проблеми землеробської механіки“ (м. Дніпропетровськ, Дніпропетровський державний аграрний університет, 17-18 жовтня 2009 р.), на 6-ій Міжнародній науково-практичній конференції „Сучасні проблеми холодильної техніки і технології“ (м. Одеса, Одеська державна академія холоду, 22-24 вересня 2009 р.), на Всеукраїнській науково-практичній конференції „Сучасні проблеми техніки та технології харчових виробництв, ресторанного бізнесу та торгівлі“ (м. Харків, Харківський державний університет харчування та торгівлі, 18 листопада 2010 р.).

Публікації за темою дисертації. Матеріали дисертації, отримані результати та рекомендації за їх використанням опубліковані в 82 роботах, зокрема 4 патенти, 8 декларативних патентів і 3 публікації тез наукових конференцій. Особисто автором написані 11 робіт, інші в співавторстві. У всіх наукових роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачу належать основні ідеї робіт, теоретичні обґрунтування і отримання результатів наукових досліджень, формування висновків і рекомендацій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, восьми розділів, висновків, списку використаної літератури і додатків.

Повний об'єм дисертації включає 294 сторінки, з них 20 займають таблиці, 38 сторінок займають ілюстрації, 32 – література. Об'єм основної частини дисертації складається з 204 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі викладено обґрунтування актуальності теми дисертації, основні положення досліджуваної проблеми, визначено мету та завдання досліджень, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі наведений аналіз стану і сучасних тенденцій розвитку технології та техніки виробництва і зберігання заморожених харчових продуктів. На основі досліджень багатьох вітчизняних та зарубіжних вчених встановлені фактори, що визначають придатність рослинної сировини для низькотемпературного заморожування, а також висвітлені способи і режими заморожування соковитої рослинної сировини та їх математичне моделювання, але з проведеного аналізу літературних джерел виявлена відсутність системних наукових досліджень математичного моделювання процесів холодильної обробки плодоовочевої сировини, систем контролю цих процесів для ефективного збереження енергії при тривалому зберіганні сільськогосподарської продукції у замороженому стані.

Аналіз наукових досліджень дав можливість сформулювати мету, завдання та гіпотезу, що основні елементи і фізичні параметри технологій низькотемпературного зберігання повинні розроблятися для окремих видів продукції.

У другому розділі подані умови та детально наведений план експериментальних досліджень всього комплексу характеристик досліджуваної плодоовочевої сировини в свіжому стані та таких, що формуються у процесі її заморожування і розморожування.

Наведена методика вимірювання коефіцієнтів тертя спокою та руху за допомогою стендів для вимірювань коефіцієнтів тертя.

Деформація плодів та овочів у залежності від зусилля деформації вимірювалась за допомогою створеної стендової установки, яка дозволяє визначити деформацію крупних плодів та овочів, а також здійснити вимірювання твердості. Зусилля деформації дрібних плодів і ягід вимірювались за допомогою штангенрейсмуса та вимірювального гвинта мікрометричного глибиноміра на створеному стенді.

Значення зусилля відриву (адгезії) об'єкта з плодоовочевої сировини від пластини вимірювалось на стенді за деформацією тензометричної балки із записом результату на стрічці осцилографа.

Дослідження змін мікроструктури плодоовочевої сировини до і після заморожування, впливу термінів зберігання на структуру тканин перцю, баклажана, гарбуза, кабачка, кукурудзи молочно-воскової стиглості і винограду здійснювалось на створеному стенді з використанням мікроскопа для морфологічних досліджень МИКМЕД-1, спеціальної приставки з Web-камерою Mustek Weam 300 та персонального комп'ютера. Одержані на цьому стенді фотографії гістологічних зрізів використовувались для визначення змін структури плодоовочевої сировини в процесі її заморожування та зберігання у замороженому стані.

Обґрунтований зміст вимірювань біохімічних характеристик плодоовочевої сировини, змін цих характеристик на різних етапах її холодильної обробки. Для вимірювань вмісту вітаміну С, вітаміну В1, цукру, титрованої кислотності використані апробовані методики за літературними даними.

Вимірювання значень гідростатичного тиску в плодоовочевій сировині здійснювалось за допомогою виготовленого приладу з використанням розробленої для цього методики. Заморожування і розморожування плодоовочевої сировини під тиском виконувалося за допомогою розробленої камери.

У третьому розділі розглянуте моделювання і розрахунок теплофізичних властивостей харчової сировини рослинного походження, надані основні концептуальні положення та вихідні розрахункові співвідношення для моделювання теплофізичних властивостей харчової продукції, які покладено в основу теоретичних досліджень дисертаційної роботи.

З метою розробки цих методик проведений порівняльний аналіз визначення ізобарної питомої теплоємності, питомої ентальпії, густини та теплопровідності в діапазоні від мінус 40 °С до плюс 40 °С. Для цих розрахунків висунута концепція, що харчову сировину та продукти можна розглядати як гетерогенні ізотропні системи з ізолованими та взаємпроникаючими компонентами – суха частина, вода, лід, атмосферне повітря, тому розрахунки були проведені за адитивними формулами (за питомими об'ємами, масовими частками компонент W_i), наприклад, для питомої теплоємності:

$$C(T) = C_{\text{сух}}(T)W_{\text{сух}} + C_B(T)W_B + C_L(T)W_L \quad (1)$$

Використовуючи довідкові дані з температурних залежностей питомої теплоємності компонентів сухої частини плодів, ягід та овочів розроблена методика розрахунку $C_{\text{сух}}$ для всіх об'єктів даної роботи.

Для повного і послідовного розрахунку значень ефективної теплоємності, ентальпії, густини та коефіцієнта теплопровідності були отримані співвідношення для розрахунку масової частки вимороженої води $\omega(T)$.

Для густини ρ також використовувалась адитивна формула підсумку питомих об'ємів ($1/\rho$) компонент об'єкту досліджень - рідинної, у тому числі і переохолодженої води, льоду, „сухої“ частини, атмосферних газів

$$\frac{1}{\rho} = \frac{W_{\text{сух}}}{\rho_{\text{сух}}} + \frac{W_B}{\rho_B} + \frac{W_L}{\rho_L} + \frac{W_g}{\rho_g} \quad (2)$$

На основі аналізу п'яти моделей теплопровідності розроблений алгоритм розрахунку значень ефективної теплопровідності (перколяції теплоти) всієї системи плодоовочевої сировини, який реалізовано на алгоритмічній мові Turbo Pascal.

$$\lambda(T) = \sum_{i=1}^5 \lambda_i \frac{K_i - L_i}{\lambda_i - L_i} \quad (3)$$

де L_i - ефективна теплопровідність i -го середовища;

K_i - ефективна теплопровідність бінарних підсистем, що складаються з i -тої компоненти (λ_i, V_i)

У рамках отриманих положень, допущень та розрахункових формул розроблені розрахункові процедури на алгоритмічній мові Turbo Pascal, які при заданих вхідних даних щодо вологовмісту W_{in} , температури початку кристалізації води $T_{\text{кр}}$, масової концентрації атмосферних газів, протеїну, жиру, вуглеводів, клітковини та золи роз-

раховують значення густини, питомої ефективної теплоємності, питомої ентальпії, ефективної теплопровідності, масової частки вимороженої води при кожній заданій температурі плодоовочевого об'єкту в діапазоні від мінус 40 °С до плюс 40 °С. Ці процедури дозволяють проводити розрахунки для всіх досліджуваних плодів та овочів на єдиній інформаційній основі щодо властивостей компонентів.

Як приклад, в авторефераті наведені результати розрахунку теплофізичних характеристик для моркви, які подані на рис.1.

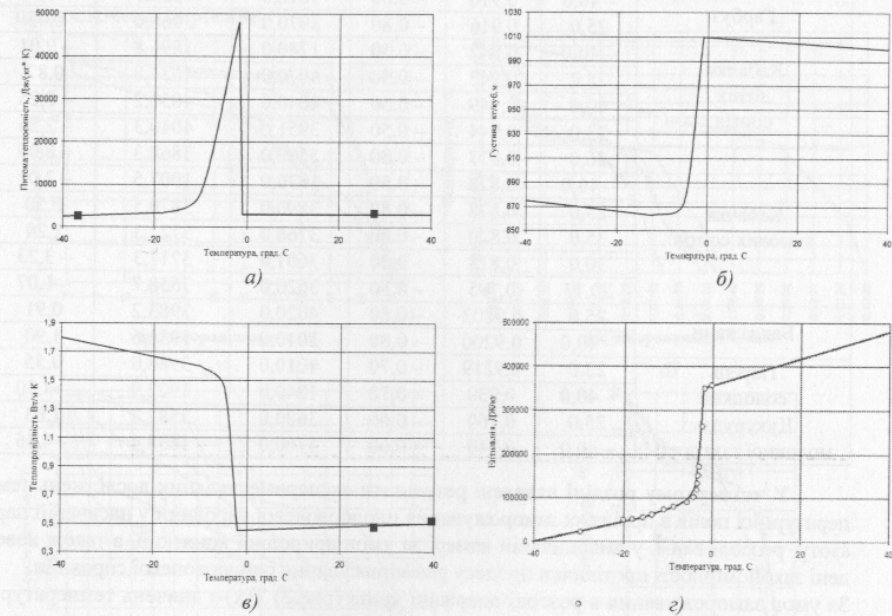


Рис. 1. Температурна залежність а) - $C(T)$, б) - $\rho(T)$, в) - $\lambda(T)$, з) - $I(T)$ моркви.

Порівняння розрахункових та експериментальних даних (табл.1) показують, що відхилення лежить у межах 1,40...1,94 %.

Таблиця 1

Теплоємність моркви

T, °C	W_{in}	$T_{\text{кр}}$, °C	C_p , Дж/(кг·К)		Відхилення, %
			експеримент	розрахунок	
65	0,878	-1,40	3810,0	3883,8	1,94

Аналогічні дані отримані для винограду, а також для гарбузів, баклажанів, кабачків, кукурудзи молочної стиглості і солодкого перцю (табл. 2).

Аналіз таблиці 2 дав можливість зробити висновок, що розроблена методика дозволяє розраховувати теплофізичні властивості овочів з похибкою 8..10% у всьому інтервалі температур від мінус 40 °С до плюс 40 °С.

Таблиця 2

Порівняння розрахункових та експериментальних даних з ефективної теплосмності овочів

Назва овочів	T, °C	W _{in}	T _{кр} , °C	C _p , Дж/кг·К		Відхилення, %
				експерим. дані	розрахунок	
Гарбуз	-40,0	0,916	-0,80	1810,0	1925,5	-6,38
	25,0	0,916	-0,80	3970,0	3968,0	0,05
Кабачки літніх сортів	-40,0	0,942	-0,50	1740,0	1896,8	-9,01
	25,0	0,942	-0,50	4070,0	4034,8	0,87
	40,0	0,949	-0,50	4040,0	4050,2	-0,25
Кабачки зимових сортів	23,0	0,944	-0,50	3951,0	4040,3	-2,26
	26,0	0,877	-0,80	3580,0	3868,3	-8,05
	-40,0	0,878	-0,80	1870,0	1907,5	-2,01
	25,0	0,878	-0,80	3890,0	3870,5	0,50
Баклажани	35,0	0,820	-0,80	3768,0	3721,3	1,24
	30,0	0,818	-0,80	3601,0	3717,3	-3,23
	20,15	0,795	-0,80	3620,0	3658,7	-1,07
	25,0	0,9203	-0,80	4020,0	3983,2	0,91
Перець солодкий	-40,0	0,9200	-0,80	2010,0	1931,6	3,90
	25,0	0,9219	-0,70	4010,0	3988,0	0,55
Кукурудза молочної стиглості	-40,0	0,930	-0,70	1840,0	1922,9	-4,50
	25,0	0,760	-0,60	3620,0	3582,7	1,03
	-40,0	0,740	-0,60	1760,0	1838,4	-4,46

У четвертому розділі наведені результати експериментальних досліджень температурних полів в процесах заморожування плодовоовочевої сировини у насиченій парі азоту, розсолі NaCl, у холодильній камері за умов природної конвекції, а також наведені закономірності протікання процесу розморожування плодовоовочевої сировини. За умов заморожування в розсолі одержані криві (рис.2) T(x)-t значень температури T(x) в координаті x для різних моментів часу t процесу.

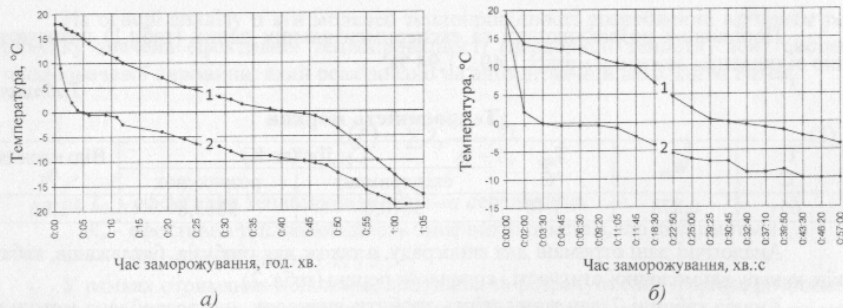


Рис 2. Зміни температур у процесі заморожування в розсолі: а) зміни температур у баклажані: 1 - 5 мм від поверхні; 2 - псевдоцентр плоду; б) зміни температур перцю солодкого (1 - насінник; 2 - стінка)

Дані для баклажана мають класичний вид, але випадкові похибки вимірювань дещо розмивають профіль кривих після проходження температури початку кристалізації води. Аналогічні особливості даних характерні для кривих при заморожуванні перцю солодкого.

У результаті заморожування плодовоовочевої сировини у насиченій парі азоту одержані характерні криві (рис.3) T(x) - t значень температури T(x) в координаті x для різних моментів часу t процесу відносно інтенсивного заморожування об'єктів плодовоовочевої сировини.

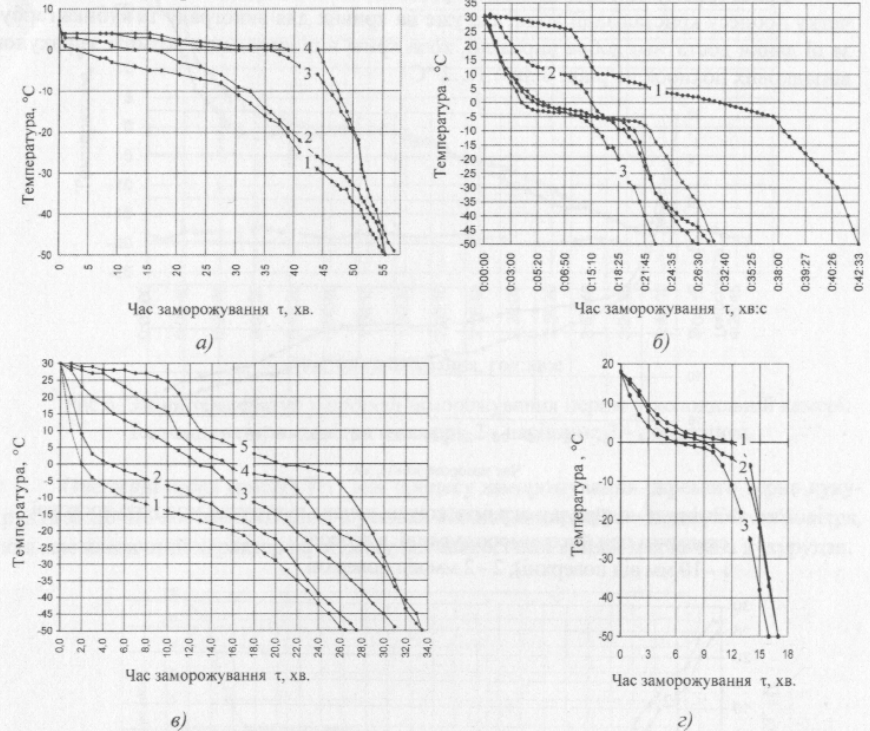


Рис.3. Зміни температур у процесі заморожування:

а) зміни в часі температур в характерних точках баклажана при його заморожуванні у насиченій парі азоту: крива 1 - 5 мм від поверхні; 2 - 10 мм від поверхні; 3 - 15 мм від поверхні; 4 - псевдоцентр плоду; б) зміни температур у процесі заморожування плоду солодкого перцю при його зовнішньому омиванні насиченою парою азоту: 1 - насінник; 2 - порожнина; 3 - стінка плоду; в) зміни температури в окремих точках качана кукурудзи при його заморожуванні в насиченій парі азоту : 1 - зернівка; 2 - 8 мм від поверхні; 3 - 15 мм від поверхні; 4 - 20 мм від поверхні; 5 - псевдоцентр качана; г) зміни температури в характерних точках кубика гарбуза при його заморожуванні в насиченій парі азоту: 1 - 5 мм від поверхні; 2 - 10 мм від поверхні; 3 - псевдоцентр кубика.

Для цілого баклажана, який має відносно великі розміри, ці криві мають класичний вигляд, але ввігнутий характер залежності має місце тільки в перші одну-дві хвилини процесу, після чого залежності з перегином становляться випуклими.

Криві $T(x)-t$ для перцю та кубика гарбуза для координат його основної маси (стінки) мають класичний достовірний характер, але температури насінника та порожнини перцю містять внески випадкового характеру, а для кубика гарбуза і систематичний внесок – похибку близько $1,0 \dots 1,5$ °C;

Криві (рис.4) $T(t)$ для качана кукурудзи, на жаль, не демонструють ланки початку процесу кристалізації води, але уже на кривих для винограду та кубика гарбуза ці ланки достатньо добре виражені, хоча криві в цілому дещо розмиті за рахунок випадкових похибок на рівні біля $\pm 1 \dots 2$ °C.

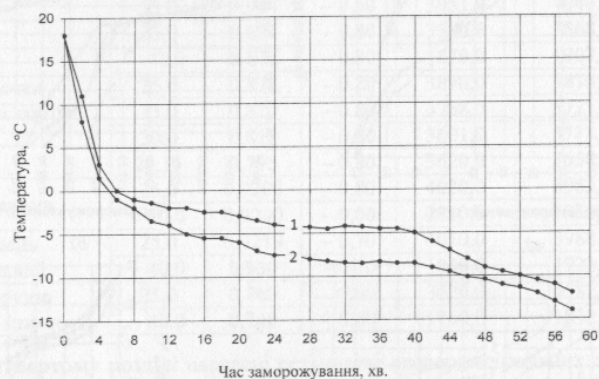


Рис. 4. Зміни температур у окремих точках качана кукурудзи молочно-воскової стиглості при його заморожуванні в розсолі: 1 - 10 мм від поверхні; 2 - 2 мм від поверхні

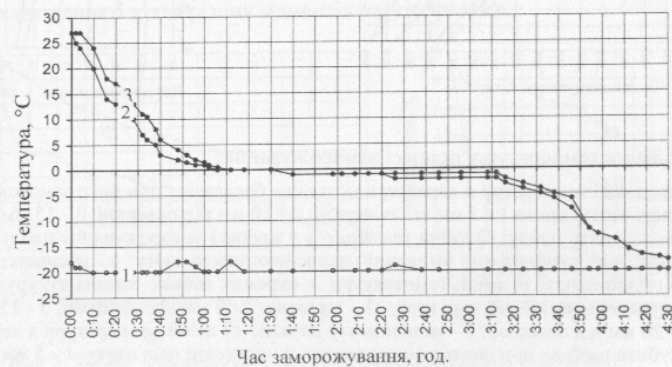


Рис. 5. Зміна температур у процесі заморожування баклажана в холодильній камері: 1 - температура повітря в камері; 2 - 15 мм від поверхні; 3 - псевдоцентр.

Відносно повільне заморожування плодоовочевої сировини в умовах вільної конвекції повітря (в холодильній камері) приводить до більш вираженого формування горизонтальної ланки на кривій (рис.5,6) $T(t)$, що демонструють відповідні графіки для процесу заморожування баклажана, перцю, кубика гарбуза, навіть для качана кукурудзи, хоча в останньому випадку і не достатньо випукло;

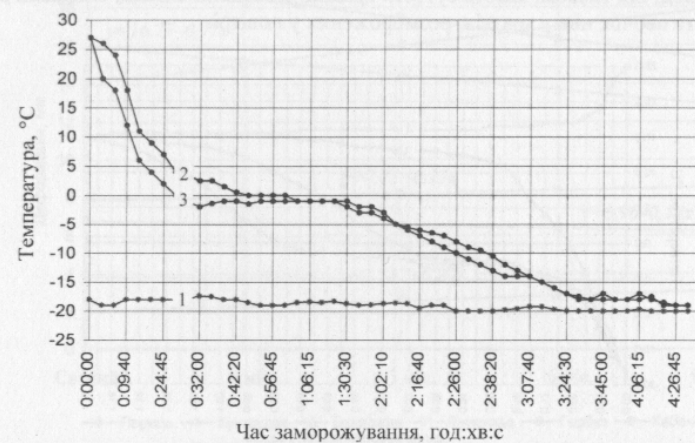


Рис. 6. Зміни температур у процесі заморожування перцю у холодильній камері: 1 - температура повітря в камері; 2 - насінник; 3 - порожнина.

Одержані криві (рис.7) $T(t)$ для процесу заморожування окремого зерна кукурудзи молочно-воскової стиглості в умовах вільної конвекції охолоджуючого повітря, яка має класичний характер на відміну від аналогічної кривої для качана кукурудзи.

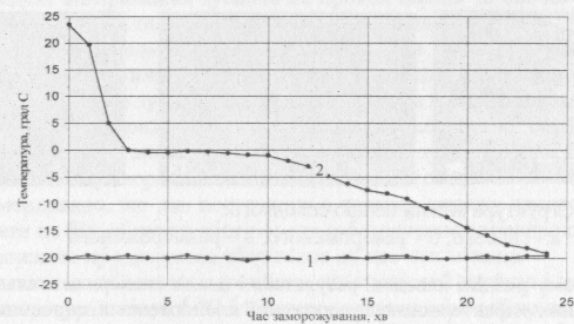


Рис. 7 Зміни температур у процесі заморожування окремого зерна кукурудзи молочно-воскової стиглості в холодильній камері: 1 - температура повітря в камері; 2 - псевдоцентр зерна.

Експериментальне визначення кривих (рис.8) $T(\tau)$ при розморожуванні замороженої сировини виявило класичний характер (наявність горизонтальних ланок на рівні температури початку кристалізації води при заморожуванні) для баклажану і перцю, а для качана кукурудзи відповідна крива має кривизну одного знаку у всьому діапазоні температур. Зразки цілих плодів і овочів, що розморожені у воді, а особливо у воді під тиском, мають суттєво кращий зовнішній вигляд, близький до свіжих плодів та овочів, ніж у зразків, розморожених у повітрі.

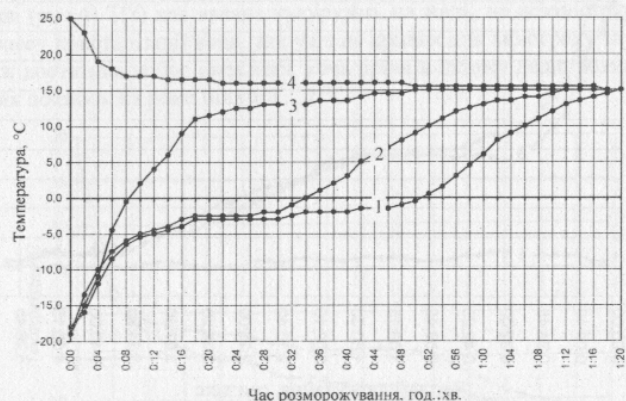


Рис. 8. Зміни температур у псевдоцентрах заморожених об'єктів при їх розморожуванні під тиском:

1 - баклажан; 2 - перець; 3 - качан кукурудзи; 4 - вода.

Проведене фотографування гістологічних зрізів (рис.9) свіжих, заморожених та розморожених плодів та овочів дозволяє виявити мікроструктурні зміни в об'єктах досліджень, демонструє менший рівень таких змін при розморожуванні у воді під тиском.



Рис. 9. Структура клітин перцю солодкого:
а - свіжого; б - замороженого; в - розмороженого

У п'ятому розділі наведені результати і аналіз експериментальних даних з фізико-механічних характеристик замороженої плодоовочевої сировини. Експериментально висвітлені закономірності між зусиллями на плоди та овочі (баклажани, перець солодкий, качани кукурудзи молочно-воскової сплості, кубики гарбуза, кабачки, ягоди винограду), величиною відповідної їх деформації (у свіжому стані, зразу після

заморожування, у процесі зберігання, після розморожування) та часом зберігання в замороженому стані, проведені кореляційний та регресійний аналіз одержаних експериментальних даних (рис.10), результати можуть бути використані для проектування відповідних технологій зберігання плодів і овочів у замороженому стані.

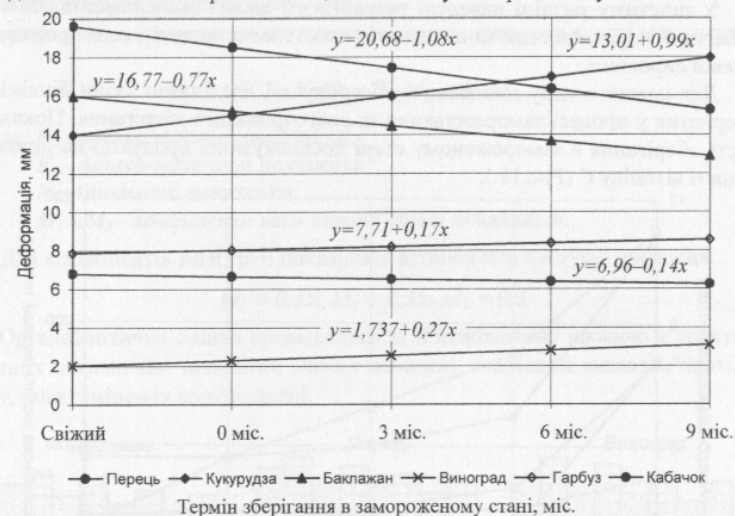


Рис.10. Залежність зусилля деформації досліджуваної продукції від терміну зберігання в замороженому стані

Одержані дані щодо змін вологовіддачі заморожених плодів та овочів при їх розморожуванні в залежності від терміну зберігання, проведений регресійний аналіз цих даних для кількісного відображення виявлених закономірностей.

Проведені вимірювання зусилля на прокол плодів та овочів у динаміці зберігання в замороженому стані та після розморожування.

Основним чинником, який істотно впливає на показник зусилля на прокол, є термін зберігання, одержані відповідні регресійні залежності його від терміну зберігання. Встановлено, що зусилля деформації, зусилля на прокол і вологовіддача є показниками, що характеризують товарну якість плодоовочевої сировини і ягід в динаміці тривалого зберігання. При цьому показники зусилля деформації і зусилля на прокол знаходяться у зворотній залежності від вологовіддачі.

Рекомендовано, що для постачання в торгівельну мережу заморожену продукцію слід зберігати не більш шести місяців; для забезпечення сировиною переробних підприємств можливе продовження зберігання до дев'яти місяців.

Результати дослідження адгезійних властивостей гарбуза і кабачків показали, що при температурах мінус 5 °С і нижчих злипання між собою шматочків гарбуза і кабачків припиняється за рахунок утворення стабільної крижаної кірки, яка перешкоджає злипанням фрагментів.

Для всіх досліджених в даній роботі видів плодоовочевої сировини одержані експериментальні дані щодо залежностей коефіцієнтів тертя спокою, тертя руху в

залежності від ваги об'єктів та швидкості руху поверхні (дерево, сталь, гума), на якій вони знаходяться. Такі дані суттєві для проектування процесів заморожування плодовоовочевої сировини в конвективних швидкозаморозильних апаратах.

У шостому розділі наведені результати і аналіз експериментальних даних з біохімічних характеристик та показників якості замороженої і розмороженої плодовоовочевої сировини.

Для кожного типу плодовоовочевої продукції досліджені зміни біохімічних характеристик у процесі заморожування та довготривалого зберігання. Показана доцільність зберігання в замороженому стані досліджуваної продукції на прикладі змін кількості вітаміну С (Рис.11.).

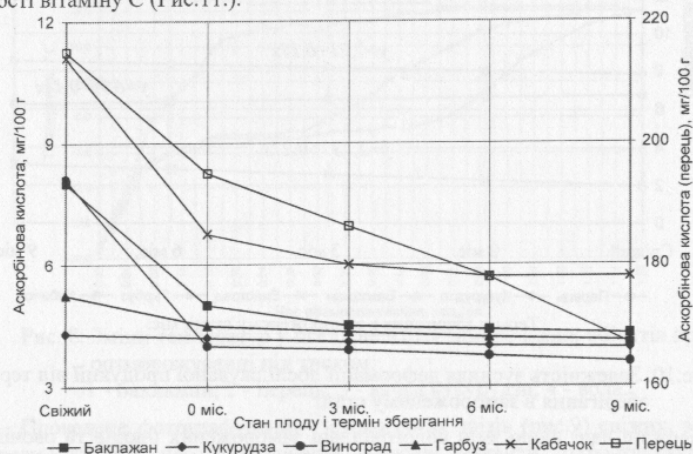


Рис.11. Динаміка змін вмісту вітаміну С плодовоовочевої продукції в процесі низькотемпературного довготривалого зберігання.

Так, для перцю солодкого в динаміці тривалого зберігання втрачається відносно невелика кількість вітаміну С – на кінець зберігання біля шести місяців він залишається найбільш інтенсивним джерелом цієї компоненти біохімічної цінності.

При довготривалому (10 місяців) зберіганні гарбуза різних сортів у замороженому стані має місце суттєво менша втрата цукру у порівнянні з контрольним зберіганням на повітрі при знижених температурах протягом декількох місяців. До аналогічного висновку приводять і дані вимірювань вмісту пектину в гарбузах контрольної партії та в гарбузі замороженому.

З позицій втрат каротиноїдів при зберіганні гарбузів всіх досліджених сортів заморожування та довготривале (10 місяців) зберігання в замороженому стані є доцільним, а сорт „Мигдальний“ серед них є найбільш придатним для використання в такій технології, оскільки характеризується найбільшим вмістом каротиноїдів.

Для полегшення порівняльних оцінок фізико-механічних, біохімічних та органолептичних показників якості плодовоовочевої сировини був запропонований комплексний

показник якості, який обчислюється з урахуванням оцінки вагомості окремих його складових (фізико-механічні, біохімічні та органолептичні характеристики), який рекомендується застосовувати для встановлення якісних змін плодовоовочевої продукції у процесі зберігання в замороженому стані.

Формула розрахунку загального комплексного показника якості має вигляд:

$$K_0 = K_1 M_1 + K_2 M_2 + K_3 M_3, \quad (4)$$

де K_1 - органолептичні показники;

K_2 - фізико-механічні показники;

K_3 - біохімічні показники;

$M_1...M_3$ - коефіцієнти ваги кожної групи показників.

Для коефіцієнтів ваги груп показників встановлені наступні значення:

$$M_1 = 0,35; M_2 = 0,35; M_3 = 0,3$$

Органолептична оцінка проводилась за п'ятибальною шкалою з урахуванням наступних показників: зовнішній вигляд поверхні, зовнішній вигляд м'якоті, колір, аромат, смак, змінення консистенції.

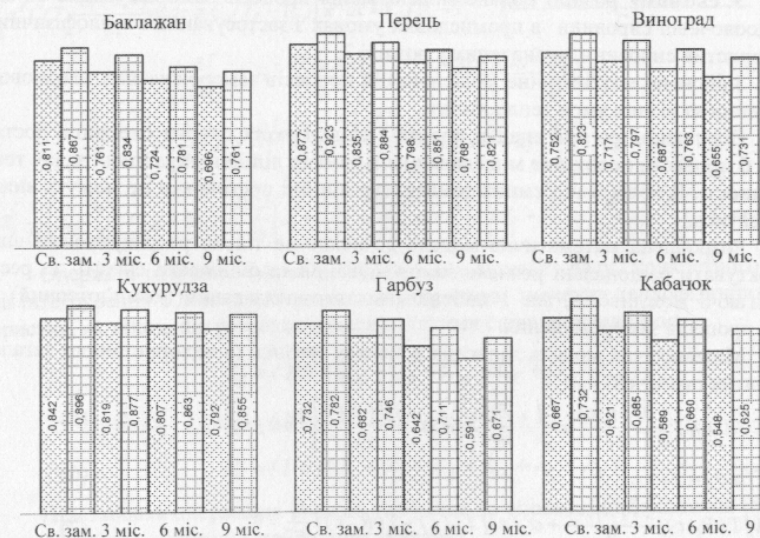


Рис.12. Порівняльна оцінка досліджених способів заморожування

▨ - контрольний спосіб; ▤ - спосіб заморожування під тиском

Фізико-механічні і біохімічні показники включали в себе зусилля деформації і зусилля на прокол шкірки, загальний вміст цукрів, титровану кислотність та вміст аскорбінової кислоти.

Оцінку якості продукції проводили поетапно: у свіжому вигляді, відразу ж після заморожування (свіжозаморожений продукт), а також після 3, 6 і 9 місяців холодильного зберігання.

Використовуючи комплексний показник були побудовані порівняльні діаграми для двох способів заморожування плодоовочевої сировини – звичайне заморожування в повітряному середовищі при атмосферному тиску (контрольний метод), та заморожування під тиском, який дорівнює гідростатичному тиску плодів (Рис.12.).

Як видно з рисунка, порівняння за допомогою комплексного показника якості двох способів заморожування для різних видів плодоовочевої продукції дає можливість одержати достатньо точну та достовірну оцінку. В даному випадку цей показник підтверджує технологічну перевагу способу заморожування при підвищеному тиску.

Запропонований комплексний показник якості рекомендується до використання при проведенні обґрунтування вибору технологій заморожування плодоовочевої сировини та її зберігання в замороженому стані.

У сьомому розділі подане моделювання процесів заморожування об'єктів з плодоовочевої сировини в промислових умовах з застосуванням теплофізичних характеристик сировини, визначених у розділі 3.

Здійснено математичне моделювання процесів заморожування плодоовочевої сировини за різних умов теплообміну.

Відмічено, що при аналізі процесів тільки охолодження сировини достатньо було б провести необхідне моделювання в рамках лінійних крайових задач теплопровідності. В області від'ємних температур лінійні постановки не можуть використовуватись.

Розроблена математична модель дозволяє не тільки розрахунковим шляхом проектувати раціональні режими заморожування та оцінювати енерго- та ресурсозберігаючі можливості, але і здійснювати автоматизований (комп'ютерний) контроль процесів заморожування.

Математична модель записана в такому вигляді (з використанням загальноприйнятих позначень):

$$C_e(T)\rho(T)\frac{\partial T(x,\tau)}{\partial \tau} = \frac{1}{x^f} \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(T)x^f \frac{\partial T(x,\tau)}{\partial x} \right]; \quad x \in [R_1, R_2], \quad \tau > 0, \quad (5)$$

$$T(x,0) = f(x), \quad (6)$$

$$\lambda[T(R_1,\tau)] \frac{\partial T(R_1,\tau)}{\partial x} + \alpha_1(\tau)[T_{c1}(\tau) - T(R_1,\tau)] \frac{F_1}{F_2} = 0, \quad (7)$$

$$-\lambda[T(R_2,\tau)] \frac{\partial T(R_2,\tau)}{\partial x} + \alpha_2(\tau)[T_{c2}(\tau) - T(R_2,\tau)] = 0 \quad (8)$$

Очевидно, що аналітичне вирішення задачі (5 - 8) при довільних змінах в часі характеристик охолоджуючого середовища неможливе. Тому альтернативою є чисельне вирішення задачі, наприклад, скінченно-різнице. При цьому схема побудови

скінченно-різницевих співвідношень, що апроксимують похідні в (5 - 8), вимагає побудови алгоритму обчислення середніх значень теплофізичних характеристик сировини у вузлах (чи в околі вузлів).

Але для обчислення теплофізичних характеристик необхідно знати значення температур у вузлах – коло замкнулося, і саме це є характерною рисою нелінійних задач. Розв'язання тут знаходиться шляхом використання відомого алгоритму „прогноз - корекція“.

Область інтегрування одномірної та нестационарної задачі (5 - 8) представляє собою прямокутник (при кінцевих значеннях тривалості процесу) і тому чисельна апроксимація цієї задачі може бути проведена на сітці вузлів.

Деталі задекларованого вище алгоритму „прогноз-корекція“ або необхідне усереднення значень теплофізичних властивостей визначаються локально, в підобласті кожного окремого вузла інтегрування, в рамках виконання рівняння (5) у вигляді співвідношення

$$\iint_{e/gh} x^f C(T) \frac{\partial T(x,\tau)}{\partial \tau} dx d\tau \cong \iint_{e/gh} \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(T)x^f \frac{\partial T(x,\tau)}{\partial x} \right] dx d\tau \quad (9)$$

На основі рівнянь (9) отримані наступні рівняння:

$$\iint_{e/gh} x^f C(T) \frac{\partial T(x,\tau)}{\partial \tau} dx d\tau \cong C_y(T_p - T_N) \int x^f dx = C_y(T_y - T_{i,j-1}) \left[\frac{(x_i + h/2)^{\Gamma+1} - (x_i - h/2)^{\Gamma+1}}{\Gamma+1} \right]; \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \iint_{e/gh} \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(T)x^f \frac{\partial T(x,\tau)}{\partial x} \right] dx d\tau &\cong \lambda_{ij}^2 \frac{(x_i + h/2)^{\Gamma}}{h} \int_{hg}^{ef} T_M d\tau - \\ &- \left[\frac{\lambda_{ij}^2}{h} \left(x_i + \frac{h}{2} \right)^{\Gamma} + \left(x_i - \frac{h}{2} \right)^{\Gamma} \right] \int_{hg}^{ef} T_p d\tau + \frac{\lambda_{ij}^1}{h} \left(x_i - \frac{h}{2} \right)^{\Gamma} \int_{hg}^{ef} T_K d\tau \cong \\ &\cong \lambda_{ij}^2 \frac{t}{2h} \left(x_i + \frac{h}{2} \right)^{\Gamma} (T_M + T_C) - \left[\frac{\lambda_{ij}^2 t}{2h} \left(x_i + \frac{h}{2} \right)^{\Gamma} + \frac{\lambda_{ij}^1 t}{2h} \left(x_i - \frac{h}{2} \right)^{\Gamma} \right] (T_p + T_N) + \frac{\lambda_{ij}^1 t}{2h} \left(x_i - \frac{h}{2} \right)^{\Gamma} (T_K + T_D); \quad (11) \end{aligned}$$

Одержані тотожності (для довільного j -го моменту часу і конкретного i -го вузла інтегрування) дозволяють записати усереднені значення теплофізичних характеристик, як таких, що розраховуються за такими співвідношеннями:

$$\begin{aligned} C_{ij} &= (1/6)(C_K + C_P + C_M + C_C + C_N + C_D) \\ \lambda_{ij}^1 &= (1/6)(\lambda_p + \lambda_N + \lambda_D + \lambda_K + \lambda_A + \lambda_L) \\ \lambda_{ij}^2 &= (1/6)(\lambda_p + \lambda_L + \lambda_B + \lambda_M + \lambda_C + \lambda_N) \end{aligned} \quad (12)$$

Підстановка одержаних виразів у (9) веде до апроксимації рівняння (5) наступною системою лінійних алгебраїчних рівнянь:

$$a_{ij}T_{ij} + b_{ij}T_{i-1,j} + c_{ij}T_{i+1,j} = d_{ij}, \quad i = \overline{1, N-1}; \quad j = \overline{1, M};$$

$$a_{ij} = \frac{C_{ij}}{\Gamma+1} \left[\left(x_i + \frac{h}{2} \right)^{\Gamma+1} - \left(x_i - \frac{h}{2} \right)^{\Gamma+1} \right] + \frac{t}{2h} \lambda_{ij}^2 \left(x_i + \frac{h}{2} \right)^{\Gamma} + \frac{t}{2h} \lambda_{ij}^1 \left(x_i - \frac{h}{2} \right)^{\Gamma},$$

xv 1320

$$b_{ij} = -\frac{t}{2h} \lambda_{ij}^1 \left(x_i - \frac{h}{2}\right)^{\Gamma}; \quad e_{ij} = -\frac{t}{2h} \lambda_{ij}^2 \left(x_i + \frac{h}{2}\right)^{\Gamma}; \quad (13)$$

$$d_{ij} = \left[\frac{C_{ij}}{\Gamma+1} \left\{ \left(x_i + \frac{h}{2}\right)^{\Gamma+1} - \left(x_i - \frac{h}{2}\right)^{\Gamma+1} \right\} - \frac{t}{2h} \lambda_{ij}^2 \left(x_i + \frac{h}{2}\right)^{\Gamma+1} - \frac{t}{2h} \lambda_{ij}^1 \left(x_i - \frac{h}{2}\right)^{\Gamma+1} \right] T_{i,j-1} + \frac{t}{2h} \lambda_{ij}^2 \left(x_i + \frac{h}{2}\right)^{\Gamma} T_{i+1,j-1} + \frac{t}{2h} \lambda_{ij}^1 \left(x_i - \frac{h}{2}\right)^{\Gamma} T_{i-1,j-1};$$

Використовуючи аналогічні підходи також одержимо, що одностороння скінченно-різницева апроксимація граничних умов (7,8) доповнює систему (13) ще двома рівняннями:

$$3T_{0j} - 4T_{1j} + T_{2j} = \frac{2h\alpha_1(\tau_j)}{\lambda(T_{0j})} [T_{a1}(\tau_j) - T_{0j}] \quad (14)$$

$$3T_{Nj} - 4T_{N-1,j} + T_{N-2,j} = \frac{2h\alpha_2(\tau_j)}{\lambda(T_{Nj})} [T_{a2}(\tau_j) - T_{Nj}]$$

Розроблений вище алгоритм був апробований при розрахунках процесів заморожування плодоовочевої сировини. Для цього виконані експериментальні дослідження теплообміну при охолодженні та заморожуванні об'єктів з плодоовочевої сировини в потоці пари азоту та при зануренні у рідкий азот, крім того проведені експериментальні дослідження за умов вільної конвекції охолоджуючого повітря, які дали задовільні узгодження виміряних та розрахункових значень.

У рамках сформульованої математичної моделі за результатами проведеної апробації геометрія плодоовочевої сировини як об'єкта холодильної обробки характеризується значеннями коефіцієнта геометричної форми Γ , що дорівнює $(1,85 \pm 0,05)$ для ягід винограду сорту „Молдова“, для плодів перцю солодкого, для кубиків нарізаного гарбуза, $(1,2 \pm 0,05)$ для баклажанів, $(0,9 \pm 0,05)$ для нарізаних кружків кабачка, $(1,5 \pm 0,05)$ для зерна кукурудзи молочно-воскової стиглості.

Сформульовано нелінійну інтерполяційну математичну модель і реалізуючий її комп'ютерний алгоритм для процесу охолодження і заморожування різних видів плодоовочевої сировини, яка дозволяє розраховувати зміни температурних полів та теплових потоків з поверхні об'єктів холодильної обробки в часі, та проведена її апробація.

На рисунку 13 представлені приклади графіків побудованих за результатами досліджень для кожного виду досліджуваної плодоовочевої продукції при різних способах її заморожування.

За результатами апробації розходження між розрахованими та експериментальними значеннями температур у характерних точках об'єктів заморожування не перевищує похибки експериментальних даних ($\pm 1 \dots 2^\circ\text{C}$).

Наукові та науково-технічні результати цього розділу опубліковані в п'ятьох статтях науково-фахових видань та обговорювались на п'ятьох наукових семінарах та конференціях.

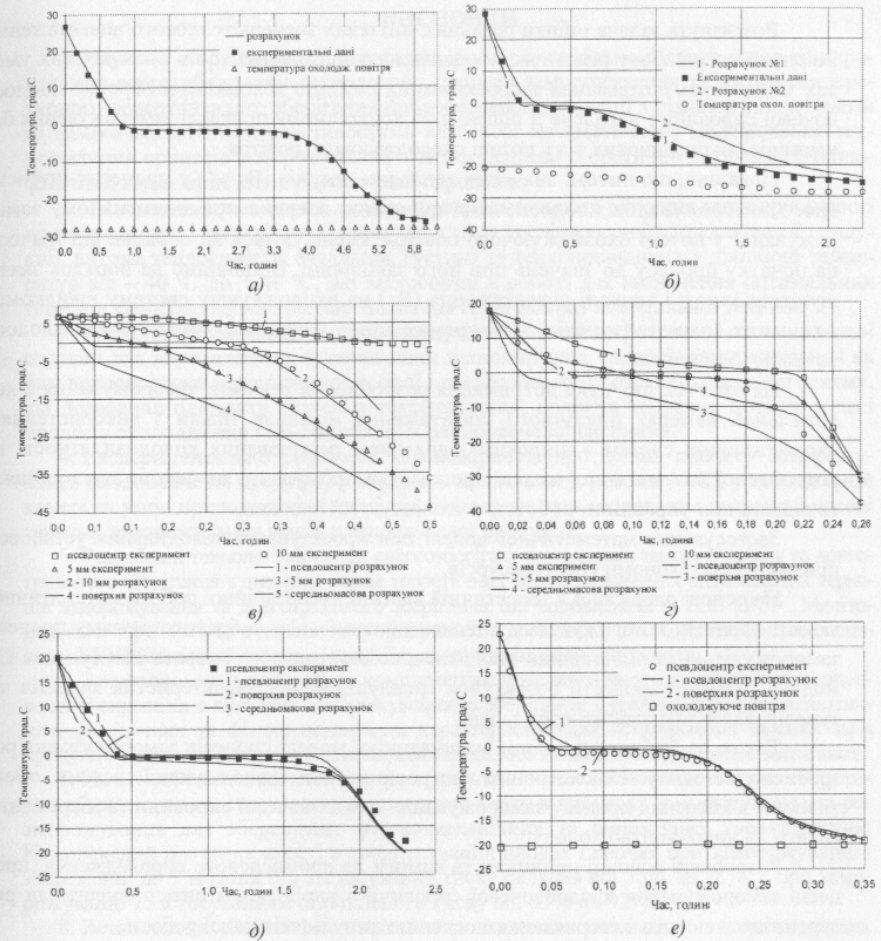


Рис.13. Порівняння розрахункових і експериментальних значень температур при різних способах заморожування:

а) - перцю і б) - винограду в холодильній камері; в) - баклажанів і г) - кубика гарбуза в насиченій парі азоту; д) - кружечка кабачка і е) - зерна кукурудзи молочної стиглості в холодильній камері.

У восьмому розділі подані техніко-технологічні рекомендації щодо промислової реалізації впровадження енерго- та ресурсозберігаючих технологій заморожування, зберігання і розморожування плодоовочевої сировини та техніко-економічне обґрунтування ефективності впровадження результатів роботи.

Розглянута задача оцінки реальних миттєвих значень теплового навантаження і відповідного вибору реального холодильного обладнання, що в промислових умовах забезпечить дотримання запроєктованих режимів холодильної обробки плодоовочевої сировини і наведено її рішення на конкретному прикладі заморожування баклажанів, як поодиноких тіл у потоці охолоджуючого повітря.

Показано, що питомі значення теплових потоків ($\text{Вт}/\text{м}^2$) у процесах інтенсивного заморожування плодоовочевої сировини, зокрема при інтенсивному заморожуванні у потоці охолоджуючого повітря, зменшуються на порядок від значень на початку процесу до значень при його закінченні. Відповідно на порядок зменшуються також і теплові навантаження (Вт) на охолоджуючу систему швидкоморозильних апаратів (тунелів) від окремих ланок конвеєрів, завантажених плодоовочевою сировиною.

Це означає, що чітке дотримання розроблених режимів заморожування в холодильних камерах циклічного завантаження можливе тільки з використанням охолоджуючих систем з широким діапазоном регулювання холодовидатності та розробленої математичної моделі процесів заморожування як основи для прийняття рішень при управлінні роботою охолоджуючої системи.

Застосування математичної моделі при проектуванні холодильних установок призводить до економії енергоресурсів.

На основі одержаної у теоретичній частині дисертаційної роботи математичної моделі процесів заморожування здійснено оптимізацію вибраного режиму процесу заморожування та відповідний вибір швидкоморозильного апарата або тунелю. Ця модель дозволяє провести розрахунок експлуатаційних характеристик апаратів чи тунелів, якщо такі уже наперед задані.

Також на базі використання математичної моделі процесів заморожування розроблено методику технологічного контролю роботи охолоджуючої системи, ефективності здійснення процесу заморожування плодоовочевої сировини та збереження енергії на виробництво холоду.

Розроблені основні принципи та вимоги до промислового впровадження процесів заморожування плодоовочевої сировини з вирішенням питань енерго- та ресурсозбереження і з використанням основних результатів даної роботи.

Надано техніко-економічне обґрунтування доцільності здійснення в промислових об'ємах процесів заморожування та наступному зберіганні в замороженому стані плодоовочевої сировини, розроблена розрахункова методика для оцінки собівартості такої сировини в залежності від об'ємів та термінів зберігання. Одержані результати дають позитивну відповідь щодо широких перспектив впровадження і розвитку цієї галузі агропромислового комплексу в Україні.

Наведені рекомендації відносно вибору необхідних характеристик промислового обладнання для здійснення процесу заморожування плодоовочевої сировини задовольняють енерго- та ресурсозберігаючі вимоги і становлять суть техніко-технологічних рекомендацій щодо впровадження результатів даної роботи.

ВИСНОВКИ

1. Науково обґрунтовано, розроблено, експериментально підтверджено та впроваджено енергозберігаючі технологічні процеси заморожування та низькотемпературного довготривалого зберігання плодоовочевої продукції з різними біохімічними та фізико-механічними властивостями на основі математичного моделювання технологічних процесів заморожування з застосуванням теоретично визначених теплофізичних характеристик плодоовочевої сировини.

2. Шляхом математичного аналізу фундаментального рівняння теплопровідності вперше одержані теплофізичні характеристики досліджуваної плодоовочевої продукції, питома теплоємність, ентальпія, густина та теплопровідність у діапазоні температур від $-40\text{ }^\circ\text{C}$ до $+40\text{ }^\circ\text{C}$, які застосовані в роботі для визначення оптимальних термінів заморожування з метою зниження енергозатрат холодильної техніки.

3. Розраховано необхідну холодопродуктивність конвеєрної охолоджуючої системи для впровадження встановлених технологічних процесів заморожування на базі використання математичної моделі і реалізуючого її розрахункового алгоритму, які дозволили одержати значення температурних полів та теплових потоків у часі процесів охолодження і заморожування плодоовочевої сировини.

4. Експериментально визначені закономірності протікання процесу заморожування плодоовочевої продукції у парі насиченого азоту, розсолі NaCl , у холодильній камері за умов природної конвекції, які підтверджують теоретично визначені часові терміни заморожування різної плодоовочевої продукції.

5. Розроблені технологічні схеми енергозберігаючих процесів заморожування та довготривалого зберігання з використанням теоретичних даних визначених оптимальних термінів заморожування та довготривалого зберігання, які впроваджені в ТОВ ВКФ „Мелітопольська черешня“, та в державному підприємстві дослідного господарстві «Мелітопольське» Мелітопольської дослідної станції садівництва ім. М.Ф. Сидоренка.

6. Запропоноване застосування комплексного показника якості замороженої плодоовочевої сировини в процесах заморожування та зберігання з урахуванням органолептичних, біохімічних та фізико-механічних характеристик для встановлення якісних змін продукції у процесі заморожування та довготривалого низькотемпературного зберігання.

7. На основі досліджень мікроструктури тканин плодів і овочів вперше теоретично обґрунтовано застосування підвищеного тиску в процесах заморожування та заморожування для збереження фізико-механічних та біохімічних характеристик. Комплексний показник якості в досліджуваних плодах і овочах при заморожуванні і збереженні до 9 місяців без застосування тиску складав від 55% до 88%, а при заморожуванні з застосуванням підвищеного тиску від 63% до 92%.

8. Встановлена енергоефективність впроваджених оптимальних технологічних режимів заморожування, які призвели до зменшення енергозатрат на заморожування плодоовочевої продукції з 139 кВт·год до 108 кВт·год на тонну для баклажанів, з 144 кВт·год до 118 кВт·год на тонну для винограду, з 136 кВт·год до 104 кВт·год на тонну для гарбуза, з 129 кВт·год до 103 кВт·год на тонну для кабачків, з 124 кВт·год до 105 кВт·год на тонну для кукурудзи, та для перцю з 132 кВт·год до 104 кВт·год на тонну, що обумовлено зменшенням термінів заморожування.

9. Економічно обґрунтовано доцільність впровадження в промислових об'ємах розроблених технологічних процесів заморожування та низькотемпературного зберігання окремих видів плодоовочевої сировини. Встановлено зменшення енергозатрат на заморожування, економічна ефективність складає від 20,9 грн./т до 35,2 грн./т в залежності від виду продукту.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

1. Бровченко С. О. Изменение биохимических свойств замороженной тыквы в динамике хранения / С. О. Бровченко, В.Ф.Ялпачик, С. И. Пастушенко // Вісник аграрної науки Причорномор'я. Випуск 4(28). - Миколаїв, 2004. - С. 204 – 213. *Дисертанту належать основні ідеї статті та обробка результатів.*
2. Стручаев К.Н. Теоретическое обоснование толщины слоя подмораживания тыквы / К.Н. Стручаев, В.Ф. Ялпачик, С.О. Бровченко // Проблемы легкой и текстильной промышленности Украины. – 2004. - 2(9). - С. 189 – 193. *Дисертанту належить методика теоретичного обґрунтування товщини підморозженого шару гарбуза.*
3. Стручаев К.Н. Уравнение коэффициентов теплопроводности овощей при отрицательных температурах / К.Н. Стручаев, В.Ф. Ялпачик // Холодильна техніка і технологія. – Одеса. – 2004. – № 2(88). – С. 56 – 57. *Дисертанту належить постановка задачі, розробка методики теоретичного визначення коефіцієнтів теплопровідності овочів при мінусових температурах.*
4. Стручаев К.Н. Выбор режимов замораживания и хранения сельскохозяйственной продукции при отрицательных температурах / К.Н. Стручаев, В.Ф. Ялпачик, С.А. Бровченко, Н.П. Загорко // Холодильна техніка і технологія. – 2004. – №4(90). – с. 45 – 49. *Дисертанту належать основна ідея статті, отримання, аналіз і узагальнення результатів дослідження.*
5. Стручаев К. Н. Исследование теплофизических характеристик при замораживании кукурузы молочно-восковой спелости / К. Н. Стручаев, В. Ф. Ялпачик // Холодильна техніка і технологія. – 2004. – № 5. – С. 57-61. *Дисертанту належить основна ідея статті, постановка задачі дослідження, наукове обґрунтування отриманих результатів.*
6. Стручаев К. Н. Методика определения оптимальных кусочков тыквы при замораживании / К. Н. Стручаев, В. Ф. Ялпачик, С. О. Бровченко // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції "Проблеми та перспективи розвитку аграрної механіки". – Дніпропетровськ. – 2004. – С. 92–94. *Дисертанту належить теоретичне обґрунтування методики розрахунку оптимальних розмірів шматочків гарбуза при заморожуванні.*
7. Буденко С. Біохімічний склад плодів баклажанів у процесі заморожування і тривалого зберігання / С. Буденко, В. Ялпачик // Вісник Львівського державного аграрного університету. – Агроінженерні дослідження № 8. – Львів, 2004. – С.259 – 265. *Дисертанту належить планування і постановка експерименту, спостереження і обробка експериментальних даних, написання статті.*
8. Буденко С.Ф. Прилади для визначення фізико-механічних властивостей плодів при заморожуванні і тривалому зберіганні / С.Ф. Буденко, В.Ф. Ялпачик, Н.П. Загорко, Л.М. Кюрчева // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь, 2004. – Вип.18. – с. 78 – 81. *Дисертантом модернізовано існуючі пристрої для визначення властивостей сировини.*
9. Стручаев К.М.. Спосіб підготовки кукурудзи молочно-воскової стиглості до зберігання / К. М. Стручаев, В. Ф. Ялпачик // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь, 2004. – Вип.20. – С.48 – 52. *Дисертанту належить основна ідея статті та узагальнення результатів.*

10. Буденко С.Ф. Технологічна схема процесу заморожування і переробки плодів баклажан / С.Ф. Буденко, В.Ф. Ялпачик // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь, 2004. – Вип.20. – С.131 – 137. *Дисертанту належить основна ідея статті та узагальнення результатів.*
11. Стручаев К.Н. Исследование полей температур в перце при замораживании / К.Н. Стручаев, В.Ф. Ялпачик, Н.П. Загорко // Збірник наукових праць Вінницького державного аграрного університету. – Вінниця, 2004.– Вип.19. – С. 203 – 208. *Дисертанту належить теоретичні дослідження розподілу температур в перці при заморожуванні.*
12. Ялпачик В.Ф., Буденко С.Ф., Загорко Н.П. Фізико-механічні властивості та біохімічний склад плодів перцю у процесі заморожування і тривалого низькотемпературного зберігання / В.Ф. Ялпачик, С.Ф. Буденко, Н.П. Загорко // Механізація і енергетика сільського господарства: V Ювілейна міжнародна науково-технічна конференція „MOTROL“ 2005 Люблін - Одеса. – Одеса, 2005. – Том 7. – С. 81 – 85. *Дисертанту належить планування і проведення досліджень зміни фізико-механічних властивостей та біохімічного складу перцю в процесі тривалого зберігання в замороженому стані та аналіз експериментальних досліджень.*
13. Ялпачик В. Ф. Новый способ замораживания та дефростації баклажанів / В.Ф.Ялпачик // Холодильна техніка і технологія. – 2005. – № 4. – С.85–87.
14. Ялпачик В.Ф. Зміни властивостей кукурудзи в процесі заморожування і тривалого зберігання / В.Ф. Ялпачик, С.Ф. Буденко, К.М. Стручаев // Холодильна техніка і технологія. – Одеса. – 2005. – №6 (98). – С. 85 – 88. *Дисертанту належить основні ідеї статті та обробка результатів.*
15. Ялпачик В. Свіжозаморожені овочі / В. Ялпачик, К. Стручаев, Н. Загорко // Харчова і переробна промисловість. – 2005. – №4. – С. 24 – 25. *Дисертанту належать основні ідеї статті та обробка результатів.*
16. Ялпачик В. Хранение сельскохозяйственной продукции в замороженном виде / В. Ф. Ялпачик // Овощеводство. – 2005. – № 11.– С. 63.
17. Иванченко В. И. Физико-механические свойства ягод винограда сорта Молдова при замораживании и длительном хранении / В.И. Иванченко, Л.Н. Кюрчева, С.Ф. Буденко, В.Ф. Ялпачик // Виноградарство и виноделие: Сб. науч. тр. ИВиВ “Магарач”. – Ялта. – 2005. – С. 118 – 120. *Дисертанту належить планування і проведення досліджень зміни фізико-механічних властивостей винограду в процесі тривалого зберігання в замороженому стані.*
18. Ялпачик В.Ф. Влияние времени хранения некоторых сельскохозяйственных продуктов в замороженном виде на микроструктуру ткани / В.Ф. Ялпачик, К.Н. Стручаев, Н.П. Загорко // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь, 2005. – Вип.25. – С.92 – 96. *Дисертанту належить ідея і проведення досліджень зміни мікроструктури ткани плодів в процесі зберігання в замороженому стані.*
19. Ялпачик В.Ф. Дослідження напруженого стану при заморожуванні - розморожуванні винограду / В.Ф. Ялпачик, А.В. Леонова, Л.М. Кюрчева // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь, 2005. – Вип.26. – С. 54 – 61. *Дисертанту належить теоретичні дослідження напруженого стану ягід винограду при заморожуванні та розморожуванні.*

20. Ялпачик В.Ф. Методика визначення фізико-механічних та теплофізичних властивостей плодів, овочів і ягід при тривалому зберіганні в замороженому виді / В.Ф. Ялпачик // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь, 2005. – Вип.29. – с. 81 – 90.
21. Ялпачик В.Ф. Дослідження дефростації продукції контактним методом під тиском / В.Ф. Ялпачик, Н.П. Загорко, К.М. Стручаев // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь, 2005. – Вип.30. – с. 69 – 73. *Дисертанту належить ідея і проведення експериментальних досліджень розморожування продукції під тиском.*
22. Ялпачик В.Ф. Енергетичний аналіз процесів заморожування і дефростації плодово-овочевої продукції / В.Ф. Ялпачик, К.Н. Стручаев // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь, 2005. – Вип.34. – с. 62 – 67. *Дисертанту належить основні ідеї статті та удосконалення результатів.*
23. Ялпачик В. Зміни біохімічного складу ягід винограду при заморожуванні та у процесі зберігання / В. Ялпачик, С. Буденко, Л. Кюрчева // Вісник Львівського державного аграрного університету. – Агроінженерні дослідження № 9. – Львів, 2005. – с. 203 – 209. *Дисертанту належить планування і постановка експерименту, спостереження і обробка експериментальних даних, написання статті.*
24. Кюрчева Л.М. Изменение свойств ягод винограда при длительном хранении в замороженном виде / Л.М. Кюрчева, В.Ф. Ялпачик, С.Ф. Буденко // Матеріали VIII міжнародної науково-практичної конференції “Наука і освіта, 2005”. – Том.53. Сільське господарство. – Дніпропетровськ, 2005. – с. 51 – 54. *Дисертанту належить планування і постановка експерименту, спостереження і обробка експериментальних даних.*
25. Yałpachik V. F. Перспективні технологічні схеми зберігання та переробки продукції / V.F. Yałpachik, S.F. Budenko // MOTROL. MOTRZACJA I ENERGETYKA ROLNICTWA. – LUBLIN, 2006. – Tom 8A. – С. 320 – 326. *Дисертанту належать основні ідеї статті та узагальнення результатів.*
26. Ялпачик В.Ф. Зміни якісних показників ягід винограду у процесі заморожування та зберігання / В.Ф. Ялпачик, С.Ф. Буденко, Л.Н. Кюрчева // Вісник Львівського Державного аграрного університету. Агрономія №10. – Львів, 2006. – С. 242 – 249. *Дисертантом проведено планування експерименту, обробка експериментальних даних, написання статті.*
27. Ялпачик В.Ф. Зміни показників якості кукурудзи при заморожуванні та зберіганні / В.Ф. Ялпачик, С.Ф. Буденко, К.М. Стручаев // Сучасні напрямки та механізації процесів переробних і харчових виробництв: Вісник ХНТУС.Г. – Харків, 2006. – Вип.45. – С. 337 – 343. *Дисертантом проведено планування експерименту, спостереження і обробка експериментальних даних.*
28. Ялпачик В.Ф. Дослідження зміни коефіцієнту тертя винограду при заморожуванні / В.Ф. Ялпачик, С.Ф. Буденко, Л.М. Кюрчева // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь, 2006. – Вип.35. – С. 37–43. *Дисертантом модернізована установка для дослідження коефіцієнтів тертя, проведені експериментальні дослідження і обробка даних.*
29. Ялпачик В.Ф. Обоснование размеров кусочков тыквы и кабачков при замораживании / В.Ф. Ялпачик, К.Н. Стручаев, В.Г. Тарасенко // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь, 2006. – Вип.37. – С.176–182. *Дисертанту належить основні ідеї статті, обробка експериментальних даних, написання статті.*

30. Ялпачик В.Ф. Дослідження змінень показників якості гарбуза в процесі заморожування та зберігання / В.Ф. Ялпачик, С.Ф. Буденко, В.Г. Тарасенко // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь, 2006. – Вип.44. – С. 35 – 41. *Дисертанту належить планування і постановка експерименту, спостереження і обробка експериментальних даних.*
31. Ялпачик В.Ф. Обоснование режимов замораживания и дефростации винограда / В.Ф. Ялпачик, К.Н. Стручаев // Вісник аграрної науки Причорномор'я. – Миколаїв, 2006. – Вип.1(33). – С. 253 – 261. *Дисертанту належить основні ідеї статті, обробка експериментальних даних.*
32. Ялпачик В.Ф. Определение количества тепла при замораживании и дефростации / В.Ф. Ялпачик // Холодильна техніка і технологія. – Одеса. – 2006. №4(102). – С. 61 – 62. *Дисертанту належить основна ідея статті, формування висновків.*
33. Ялпачик В. Зміни фізико-механічних показників плодів перцю у процесі заморожування і тривалого зберігання / В. Ялпачик, С. Буденко, Н. Загорко // Теорія і практика розвитку АПК. Матеріали міжнародного науково-практичного форуму. – Львів, 2006. – Том.2. – с. 220 – 227. *Дисертанту належить планування і постановка експерименту, спостереження і обробка експериментальних даних.*
34. Ялпачик В.Ф. Розрахунок основних теплофізичних характеристик овочів і винограду при заморожуванні / В.Ф. Ялпачик // Научные труды. Энергосберегающие технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции (Технические науки). – Симферополь, 2006. – Вип.93. – с. 118 – 126.
35. Ялпачик В.Ф. Определение теплофизических свойств кабачков при замораживании / В.Ф. Ялпачик, В.Г. Тарасенко // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь, 2007. – Вип.7. – Том 1. – С. 58 – 61. *Дисертанту належить отримання результатів дослідження і їх аналіз, узагальнення досліджень.*
36. Ялпачик В.Ф. Технологическая схема процесса замораживания кабачков и тыквы / В.Ф. Ялпачик, В.Г. Тарасенко // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь, 2007. – Вип.7. – Том 4. – С. 92 – 95. *Дисертанту належить основна ідея статті, постановка задачі, написання статті.*
37. Ялпачик В.Ф. Методологические основы исследования процесса получения дефростированной плодовоовощной продукции / В.Ф. Ялпачик, А.В. Гвоздев, В.Г. Тарасенко // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь, 2007. – Вип.7. – Том.5. – С. 11 – 15. *Дисертанту належить ідея постановки досліджень, отримання основних наукових результатів та їх аналіз.*
38. Ялпачик В.Ф. Коэффициент трения некоторых видов плодовоовощной продукции / В.Ф. Ялпачик, С.В. Буденко // Холодильна техніка і технологія. – Одеса. – 2007. – №2(106). – С. 68 – 74. *Дисертанту належить основна ідея статті, розробка методики експерименту, отримання результатів формування висновків.*
39. Ялпачик В.Ф. Исследование адгезионных свойств кабачков / В.Ф. Ялпачик, С.Ф. Буденко, В.Г. Тарасенко // Холодильна техніка і технологія. – 2007. – №4(108). – С. 58 – 60. *Дисертанту належить основна ідея статті, розробка методики експерименту, отримання і аналіз отриманих результатів, формування висновків.*

40. Стручаев Н.И. Параметрический анализ технологического процесса замораживания сельскохозяйственной продукции / Н.И.Стручаев, В.Ф. Ялпачик // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. – №2. – Дніпропетровськ, 2007. – С. 59 – 61. *Дисертанту належить основна ідея статті, постановка задачі досліджень, аналіз результатів.*
41. Ялпачик В.Ф. Характеристика кабачків як перспективного об'єкта на ринку швидкозамороженої продукції / В.Ф. Ялпачик, В.Г. Тарасенко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка, випуск 58 „Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв“, Харків, 2007.–С.262 – 266. *Дисертанту належить основна ідея статті, постановка задачі досліджень, аналіз результатів.*
42. Ялпачик В.Ф. Обґрунтування розмірів і товщини підмороженого шару кабачків і гарбуза в процесі тривалого зберігання у замороженому вигляді / В.Ф. Ялпачик, В.Г. Тарасенко // Матеріали третьої всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції 29-31 січня 2008 року. Соціум. Наука. Культура. Частина 2, – Київ, 2008.–С.57 - 58. *Дисертанту належить основна ідея статті, постановка задачі досліджень, аналіз результатів.*
43. Ялпачик В.Ф. Зміння властивостей плодів кабачків у процесі заморожування та тривалого зберігання / В.Ф. Ялпачик, С.Ф. Буденко, В.Г. Тарасенко // Прогресивні техніки та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі. Зб. наук, праць, випуск 2 (6), Харків, 2007. – С. 176 – 182. *Дисертанту належить постановка задачі і розробка методики проведення досліджень, аналіз результатів.*
44. Ялпачик В.Ф. Підготовка гарбуза до заморожування / В.Ф. Ялпачик, В.Г. Тарасенко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету, випуск 8, том 1, Мелітополь, 2008. – С 166 – 169. *Дисертанту належить основна ідея статті, отримання, аналіз і узагальнення результатів дослідження.*
45. Ялпачик В.Ф. Модель процесу заморожування под давлением плодів овошів для тривалого зберігання / В.Ф. Ялпачик // Матеріали міжнародного форуму молодіжи „Молодежь и сельскохозяйственная техника в XXI веке“, Харьков, 2008. – с.30.
46. Ялпачик В.Ф., Стручаев К.Н. Технология хранения и переработки кукурузы молочно-восковой спелости в замороженном виде / В.Ф. Ялпачик, К.Н. Стручаев // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету, випуск 8, том 2, Мелітополь, 2008. – С. 33 – 40. *Дисертанту належить постановка і розробка методики проведення досліджень, аналіз результатів.*
47. Кравец О.В. Оптимізація перевезень сільськогосподарської продукції / О.В. Кравец, В.Ф. Ялпачик, В.Г. Тарасенко // Холодильна техніка і технологія. – Одеса, 2008. – №2(112). – С.77 – 79. *Дисертанту належить основна ідея статті, отримання і аналіз результатів дослідження.*
48. Ялпачик В.Ф. Комплексная оценка качества некоторых видов продукции при ее замораживании и в процессе хранения / В.Ф. Ялпачик, С.Ф. Буденко // Холодильна техніка і технологія. – Одеса, 2008. – №3 (113). – С.78 - 81. *Дисертанту належать основні ідеї статті та узагальнення результатів.*
49. Ялпачик В.Ф. Системный подход к разработке технологии замораживания плодовоошной продукции под давлением и ее классификация / В.Ф. Ялпачик // Матеріали IV-ої Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених і студентів „Перспективна техніка і технології - 2008“ 24-26 вересня 2008 року, Миколаїв, 2008.- С.88 - 94.

50. Ялпачик В.Ф. Заморожування і дефростація плодовоовочевої продукції під тиском / В.Ф. Ялпачик // Вісник Львівського національного аграрного університету. Агроінженерні дослідження №12, том 1, Львів, 2008. – С.142 – 149.
51. Ялпачик В. Обоснование толщины подмороженного слоя кусочков кабачков и тыквы в процессе подготовки к длительному хранению в замороженном виде / В. Ялпачик, Н. Стручаев, В. Тарасенко // MOTROL. MOTRZACJA I ENERGETYKA ROLNICTWA. – LUBLIN, 2006. – Том 10А. – С. 187 – 190. *Дисертанту належить основна ідея статті, постановка задачі дослідження, наукове обґрунтування отриманих результатів.*
52. Ялпачик В.Ф. Влияние формы и расположения плодов в холодильной камере на коэффициент теплоотдачи / В.Ф. Ялпачик, Н.И. Стручаев // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь, 2008. – Вип.8. – Том.7.–С. 3 – 8. *Дисертанту належить основна ідея статті, теоретичні розрахунки коефіцієнта тепловіддачі.*
53. Ялпачик В.Ф. Технология длительного хранения кабачков и тыквы в замороженном виде / В.Ф. Ялпачик // Наукові праці південного філіалу „Кримський агротехнологічний університет“ Національного аграрного університету. Технічні науки, вип. 113, Сімферополь, 2008, – С.77 – 82.
54. Ялпачик В.Ф. Вибір температури заморожування рослинної сировини по вимороженій воді / В.Ф. Ялпачик, В.Г. Тарасенко // Холодильна техніка і технологія. – Одеса, 2008. – №5 (115).— С.36 – 40. *Дисертанту належить основна ідея статті і розробка методики проведення досліджень, узагальнення результатів.*
55. Ялпачик В.Ф. Зміна показників якості плодів баклажан, перцю, кукурудзи, гарбуза, кабачків і винограду в процесі тривалого зберігання в замороженому вигляді / В.Ф. Ялпачик // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка, випуск 74 „Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв“, – Харків, 2008. – С.300 – 306.
56. Ялпачик В.Ф. Способ определения гидростатического давления в плодах / В.Ф. Ялпачик // Матеріали V-го міжнародного форуму молодіжи „Молодежь и сельскохозяйственная техника в XXI веке“, Харьков, 2009.– с.31.
57. Малкина В.М. Математическое моделирование процесса замораживания сельскохозяйственной продукции / В.М. Малкина, В.Ф. Ялпачик // Холодильна техніка і технологія. – Одеса, 2008. – №6 (116). – С.52 – 54. *Дисертанту належить основна ідея статті та узагальнення результатів.*
58. Ялпачик В.Ф. Технологічні критерії зберігання заморожених плодів / В.Ф. Ялпачик, С.Ф. Буденко // Обладнання та технології харчових виробництв. Тематичний збірник наукових праць, вип. 20, Донецьк, 2009. – с.310 – 315. *Дисертанту належить розробка критеріїв зберігання заморожених плодів.*
59. Тарасенко В.Г. Розрахунок економічної ефективності (бізнес-план) по плануванню і організації виробництва замороженої плодовоовочевої продукції / В.Г. Тарасенко, В.Ф. Ялпачик // Холодильна техніка і технологія. – Одеса, 2009.- №2 (118). – С.48 – 50. *Дисертанту належить основна ідея статті та узагальнення результатів*

60. Стручаев К.Н. Теплофизика замораживания и дефростации овощей / К.Н. Стручаев, В.Ф. Ялпачик // *Хранение и переработка сельхозсырья*, № 6, 2005. – с.33–34. *Дисертанту належить основна ідея статті та узагальнення результатів*
61. Ялпачик В.Ф. Развитие научных основ инженерных методов хранения сельскохозяйственной продукции в замороженном виде / В.Ф. Ялпачик // *Сучасні проблеми холодильної техніки і технології. 6-а Міжнародна науково-технічна конференція. Збірник тез доповідей. Одеса, 2009.* – с.224 – 226.
62. Ялпачик В.Ф. Развитие научных основ зберігання плодово-овочевої продукції у замороженому стані / В.Ф. Ялпачик // *Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. Спеціальний випуск №2-09. Дніпропетровськ, 2009.* –с.75–78.
63. Малкіна В.М. Моделирование процесса деформации у ягоды винограда при заморозиванні / В.М. Малкіна, В.Ф. Ялпачик // *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету.* – Мелітополь, 2010. – Вип.10. – Том.1.– С. 3 – 8. *Дисертанту належить розробка методики експерименту, отримання і аналіз отриманих результатів, формування висновків.*
64. Ялпачик В.Ф. Коэффициент теплопроводности как критерий оценки режимов замораживания и хранения сельскохозяйственной продукции / В.Ф. Ялпачик // *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету.* – Мелітополь, 2010. – Вип.10. – Том. 3. – С. 199 – 208.
65. Ялпачик В.Ф. Розрахунок теплофізичних властивостей харчової сировини рослинного походження / В.Ф. Ялпачик // *Сучасні проблеми техніки та технології харчових виробництв, ресторанного бізнесу та торгівлі. Тези доповідей.* – Харків. – 2010. – С. 160 – 161.
66. Ялпачик В.Ф. Математичне моделювання процесів заморожування плодовоовочевої сировини за різних умов теплообміну / В.Ф. Ялпачик // *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету.* – Мелітополь, 2011. – Вип.11. – Том.6. – С. 25 – 37.
67. Ялпачик В.Ф. Апробація математичної моделі процесів заморожування винограду в гронах та використання для проектування промислових режимів його заморожування / В.Ф. Ялпачик. *Сучасні проблеми холодильної техніки і технології. 7-а Міжнародна науково-технічна конференція. Збірник тез доповідей, частина 2, - Одеса, 2011.* С. 116-118.
68. Ялпачик В.Ф. Заморожування та зберігання плодово-овочевої сировини в замороженому стані з прогнозованою якістю. / В.Ф. Ялпачик. *Сучасні проблеми холодильної техніки і технології. 7-а Міжнародна науково-технічна конференція. Збірник тез доповідей, частина 2, - Одеса, 2011.* С. 116-118.
69. Спосіб підготовки баклажанів до зберігання: Д.п. № 64454А Україна, А23В7/04 / О.В. Гвоздев, В.Ф.Ялпачик, С.О.Бровченко – 2003065108: Заяв. 03.06.2003, Опубл. 6.02.2004. – Бюл. № 2. – 2с. *Дисертанту належить розробка способу підготовки баклажанів до зберігання.*
70. Спосіб підготовки гарбуза до зберігання; Д. п. № 6046 Україна А23В7/04 В.Ф. Ялпачик, С.О. Бровченко, К.М. Стручаев. – 20040705351: Заявл. 05.07.2004, Опубл. 15.04.2005 Бюл. № 4. – 3с. *Дисертанту належить розробка способу підготовки гарбуза до зберігання.*

71. Спосіб заморожування плодової, овочевої або ягідної продукції: Д.п. № 9866 Україна, А23 L3/36/ В.Ф. Ялпачик, К.М. Стручаев – 200503391: Заявл. 11.04.2005, Опубл. 17.10.2005. Бюл. № 10 – 3с. *Дисертанту належить патентний пошук і обґрунтування способу заморожування плодовоовочевої продукції.*
72. Спосіб отримання соку гарбузів: Д.п. №6050 Україна, А23L2/02 / В.Ф. Ялпачик, С.О. Бровченко, К.М. Стручаев – 20070706184: Заявл. 26.07.2004, Опубл. 15.04.2005 Бюл. №4 – 2 с. *Дисертанту належить розробка способу отримання соку гарбуза.*
73. Спосіб дефростації плодової, овочевої або ягідної продукції: Д.п. № 8078 Україна, А23В7/04 / М.І. Стручаев, В.Ф. Ялпачик, К. М. Стручаев – 200500298: Заявл. 13.01.2005, Опубл. 15.07.2005 Бюл. №7 – 2с. *Дисертанту належить розробка способу дефростації плодовоовочевої продукції.*
74. Пристрій для отримання соку з замороженої плодовоовочевої продукції: Д.п. №8102 Україна, В30В9/12/ В. Й. Іванченко, К. М. Стручаев, В.Ф. Ялпачик – 200500465: Заявл. 17.01.2005, Опубл. 15.07.2005 Бюл. №7 – 3с. *Дисертанту належить ідея і розробка пристрою для отримання соку з замороженої плодовоовочевої продукції.*
75. Пристрій для дефростації плодової та овочевої або ягідної продукції: Д.п. №8618 Україна, Н05В6/80 / В.Ф. Ялпачик, К.М. Стручаев, Л.М. Кюрчева – 20050047: Заявл. 17.01.2005, Опубл. 15.08.2005 Бюл. № 8 – 3с. *Дисертанту належить ідея і розробка пристрою для дефростації плодовоовочевої сировини.*
76. Спосіб консервування соку купажованого кукурудзяно-перцевого: Д. п. № 13719 Україна, А23L2/12/ Н.П. Загорко, К.М. Стручаев, В.Ф.Ялпачик, В.Г. Циб, В.Г. Данченко – 200509715: Заявл. 17.10.2005, Опубл. 17.04.2006 Бюл. № 4 – 2с. *Дисертанту належить розробка способу консервування соку купажованого кукурудзяно-перцевого.*
77. Патент №79095 Україна, МПК А23В7/04 Спосіб підготовки кукурудзи молочно-воскової стиглості до зберігання / К.М. Стручаев, В.Ф. Ялпачик, М.І. Стручаев. – 20040402899: Заявл. 20.04.2004, Опубл. 25.05.2007 Бюл. №7 – 2с. *Дисертанту належить розробка способу підготовки кукурудзи молочно-воскової стиглості до зберігання.*
78. Патент №26205 Україна, МПК А23В7/04 Спосіб підготовки кабачків до зберігання / В.Г. Тарасенко, В.Ф. Ялпачик: Заявл. 23.04.2007, Опубл. 10.09.2007 Бюл. №14 – 2с. *Дисертанту належить розробка способу підготовки кабачків до зберігання.*
79. Патент №27716 Україна, МПК А23В7/00 Спосіб виготовлення консервованої овочевої ікри / В.Г. Тарасенко, Н.П. Загорко, В.Ф. Ялпачик: Заявл. 09.07.2007, Опубл. 12.11.2007 Бюл. №18 – 2 с. *Дисертанту належить розробка способу виготовлення консервованої овочевої ікри.*
80. Патент №41466 Україна, МПК G01N7/00 Пристрій визначення тиску для контролю якості плодовоовочевої продукції / В.Ф.Ялпачик, М.І. Стручаев, К.М. Стручаев., – 200814326: Заявл. 12.12.2008, Опубл. 25.05.2009 Бюл. №10 – 4 с. *Дисертанту належить патентний пошук, розробка і виготовлення пристрою.*
81. Патент №44109 Україна, МПК А23В7/000 Спосіб консервування кабачків / В.Г. Тарасенко, Н.П. Загорко, В.Ф. Ялпачик. – 200815202: Заявл. 29.12.2008, Опубл. 25.09.2009 Бюл. №18 – 3с. *Дисертанту належить розробка способу консервування кабачків.*
82. Патент №95793 Україна, МПК G01N7/00 Спосіб контролю якості плодовоовочевої продукції / В.Ф. Ялпачик, М.І. Стручаев., – а200810600: Заявл. 22.08.2008, Опубл. 12.09.2011, Бюл. №17 – 2с. *Дисертанту належить розробка способу і виготовлення приладу для контролю якості плодовоовочевої продукції.*

АНОТАЦІЯ

Ялпачик В.Ф. Развитие научных основ энергосберегающих технологий замораживания та низкотемпературного зберігання плодовоовочевої сировини. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.18.13 – технологія консервованих і охолоджених харчових продуктів. – Одеська державна академія холоду, Одеса, 2012.

Дисертація присвячена вирішенню важливих проблем розвитку наукових основ енергосберегаючих технологій заморажування та низкотемпературного зберігання плодовоовочевої сировини.

Науково обґрунтовано, розроблено, експериментально підтверджено та впроваджено енергосберегаючі технологічні процеси заморажування та низкотемпературного довготривалого зберігання плодовоовочевої продукції з різними біохімічними та фізико-механічними властивостями на основі математичного моделювання технологічних процесів заморажування з застосуванням теоретично визначених теплофізичних характеристик плодовоовочевої сировини.

Шляхом математичного аналізу фундаментального рівняння теплопровідності вперше одержані теплофізичні характеристики досліджуваної плодовоовочевої продукції: питома теплоємність, ентальпія, густина та теплопровідність у діапазоні температур від -40°C до $+40^{\circ}\text{C}$, які застосовані в роботі для визначення оптимальних термінів заморажування з метою зниження енергозатрат холодильної техніки.

Розраховано необхідну холодопродуктивність конвеєризованої охолоджуючої системи для впровадження встановлених технологічних процесів заморажування на базі використання математичної моделі і реалізуючого її розрахункового алгоритму, які дозволили одержати значення температурних полів та теплових потоків у часі процесів охолодження і заморажування плодовоовочевої сировини.

Експериментально визначені закономірності протікання процесу заморажування плодовоовочевої продукції у насиченій парі азоту, розсолі NaCl, у холодильній камері за умов природної конвекції, які підтверджують теоретично визначені часові терміни заморажування різної плодовоовочевої продукції.

Розроблено технологічні схеми енергосберегаючих процесів заморажування та довготривалого зберігання з використанням теоретичних даних щодо визначення оптимальних термінів заморажування та довготривалого зберігання, які впроваджені в ТОВ ВКФ „Мелітопольська черешня“ та в інституті зрошуваного садівництва ім. М.Ф. Сидоренка.

Запропоновано застосування комплексного показника якості замороженої плодовоовочевої сировини в процесах заморажування та довготривалого зберігання з урахуванням органолептичних, біохімічних та фізико-механічних характеристик для встановлення якісних змін продукції у процесі заморажування та низкотемпературного зберігання.

Встановлено енергоефективність впроваджених оптимальних технологічних режимів, які призвели до зменшення енергозатрат на заморажування плодовоовочевої продукції з $139 \text{ кВт}\cdot\text{г/т}$ до $108 \text{ кВт}\cdot\text{г/т}$ для баклажанів, з $144 \text{ кВт}\cdot\text{г/т}$ до $118 \text{ кВт}\cdot\text{г/т}$ для винограду, з $136 \text{ кВт}\cdot\text{г/т}$ до $104 \text{ кВт}\cdot\text{г/т}$ для гарбуза, з $129 \text{ кВт}\cdot\text{г/т}$ до $103 \text{ кВт}\cdot\text{г/т}$ для кабачків, з $124 \text{ кВт}\cdot\text{г/т}$ до $105 \text{ кВт}\cdot\text{г/т}$ для кукурудзи та для перцю з $132 \text{ кВт}\cdot\text{г/т}$ до $104 \text{ кВт}\cdot\text{г/т}$, що обумовлено зменшенням термінів заморажування.

Ключові слова: плодовоовочева сировина, процес заморажування, низкотемпературне довготривале зберігання, енергосберегаюча технологія, теплофізичні характеристики, температурне поле, тепловий потік.

АНОТАЦІЯ

Ялпачик В.Ф. Развитие научных основ энергосберегающих технологий замораживания и низкотемпературного хранения плодовоовощного сырья. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.18.13 – технология консервированных и охлажденных пищевых продуктов. – Одесская государственная академия холода, Одесса, 2012.

Диссертация посвящена решению важной проблемы – развитию научных основ энергосберегающих технологий замораживания и низкотемпературного хранения плодовоовощного сырья.

Научно обоснованы, разработаны, экспериментально подтверждены и внедрены энергосберегающие технологические процессы замораживания и низкотемпературного длительного хранения плодовоовощной продукции с разными биохимическими и физико-механическими свойствами на основе математического моделирования технологических процессов замораживания с применением теоретически определенных теплофизических характеристик плодовоовощного сырья.

Путем математического анализа фундаментального уравнения теплопроводности впервые получены теплофизические характеристики исследуемой плодовоовощной продукции: удельная теплоемкость, энтальпия, плотность и теплопроводность в диапазоне температур от -40°C до $+40^{\circ}\text{C}$, которые применены в работе для определения оптимальных сроков замораживания с целью снижения энергозатрат холодильной техники.

Расчитана необходимая холодопроизводительность конвейеризированной охлаждающей системы для внедрения установленных технологических процессов замораживания на базе использования математической модели и реализующего ее расчетного алгоритма, которые разрешили получить значения температурных полей и тепловых потоков во времени процессов охлаждения и замораживания плодовоовощного сырья.

Экспериментально определены закономерности протекания процесса замораживания плодовоовощной продукции в насыщенных парах азота, рассоле NaCl, в холодильной камере при условиях естественной конвекции, которые подтверждают теоретически определенные временные сроки замораживания разной плодовоовощной продукции.

Разработаны технологические схемы энергосберегающих процессов замораживания и длительного хранения с использованием теоретических данных относительно определенных оптимальных сроков замораживания и хранения, которые введены в ООО ПКФ „Мелитопольская черешня“ и в институте орошаемого садоводства им. М. Ф. Сидоренко.

Предложено применение комплексного показателя качества замороженного плодовоовощного сырья в процессах замораживания и длительного хранения с учетом органолептических, биохимических и физико-механических характеристик для установления качественных изменений продукции в процессе замораживания и низкотемпературного хранения.

Установлена энергоэффективность введенных оптимальных технологических режимов, которые привели к уменьшению энергозатрат на замораживание плодовоовощной продукции с $139 \text{ кВт}\cdot\text{ч/т}$ до $108 \text{ кВт}\cdot\text{ч/т}$ для баклажан, с $144 \text{ кВт}\cdot\text{ч/т}$ до $118 \text{ кВт}\cdot\text{ч/т}$ для винограда, с $136 \text{ кВт}\cdot\text{ч/т}$ до $104 \text{ кВт}\cdot\text{ч/т}$ для тыквы, с $129 \text{ кВт}\cdot\text{ч/т}$ до $103 \text{ кВт}\cdot\text{ч/т}$ для кабачков, с $124 \text{ кВт}\cdot\text{ч/т}$ до $105 \text{ кВт}\cdot\text{ч/т}$ для кукурузы и для перца с $132 \text{ кВт}\cdot\text{ч/т}$ до $104 \text{ кВт}\cdot\text{ч/т}$, что обусловлено уменьшением времени замораживания.

Ключевые слова: плодовоовощное сырье, процесс замораживания, низкотемпературное длительное хранение, энергосберегающая технология, теплофизические характеристики, температурное поле, тепловой поток.

V. Yalpachik. Development of scientific bases of energy saving technologies of freezing and low temperature storage of fruit and vegetable raw material. – Manuscript.

Dissertation on the receipt of scientific degree of doctor of engineering sciences' after specialty 05.18.13 is technology of the canned and chilled food foods. it is the Odessa state academy of cold, Odessa, 2012.

Dissertation is sanctified to the decision of important problems of development of scientific bases of energy saving technologies of freezing and low temperature storage of fruit and vegetable raw material.

Scientifically reasonably, it is worked out, the energy saving technological processes of freezing and low temperature of long duration storage of fruit and vegetable products are experimentally confirmed and inculcated with different biochemical and physics-mechanicals properties on the basis of mathematical design of technological processes of freezing with the use of in theory certain thermophysical descriptions of fruit and vegetable raw material.

By the mathematical analysis of fundamental equalization of heat-conducting thermophysical descriptions of the investigated fruit and vegetable products are first got specific heat capacity, enthalpy, closeness and heat-conducting in the range of temperatures from -40°C to $+40^{\circ}\text{C}$, which are applied in-process for determination of optimal terms of freezing with the aim of decline of energy expenses of refrigeration technique.

It is expected necessary cold productivity of the conveyer cooling system for introduction of the set technological processes of freezing on the base of the use of mathematical model and realization her calculation algorithm, which allowed to get the value of the temperature fields and thermal streams in time of processes of cooling and freezing of fruit and vegetable raw material.

Experimentally certain conformities to law of flowing of process of freezing of fruit and vegetable products are in the pair of the saturated nitrogen, brine of NaCl, in a cool-room at the terms of natural convection, which confirm the in theory certain sentinel terms of freezing of different fruit and vegetable products.

The flowsheets of energy saving processes of freezing and of long duration storage with the use of theoretical data in relation to the certain optimal terms of freezing and of long duration storage, CLL PKF „Melitopol merry“, and in the institute of the irrigated gardening of to the name of M. F. Sidorenko.

Application of complex index of quality of the frozen fruit and vegetable raw material is offered in the processes of freezing and of long duration storage taking into account organoleptik, biochemical and physics-mechanicals descriptions for establishment of high-quality changes of products in the process of freezing and of long duration low temperature storage.

Energy efficiency of the inculcated optimal technological modes which resulted in diminishing of energy expenses on freezing of fruit and vegetable products from $139 \text{ kW}\cdot\text{t}$ to $108 \text{ kW}\cdot\text{t}$ on to tone for egg-plants is set, from $144 \text{ kW}\cdot\text{t}$ to $118 \text{ kW}\cdot\text{t}$ on to tone for a vine, from $136 \text{ kW}\cdot\text{t}$ to $104 \text{ kW}\cdot\text{t}$ on to tone for a pumpkin, from $129 \text{ kW}\cdot\text{t}$ to $103 \text{ kW}\cdot\text{t}$ on to tone for vegetable marrows, from $124 \text{ kW}\cdot\text{t}$ to $105 \text{ kW}\cdot\text{t}$ on to tone for a corn, and for a pepper from $132 \text{ kW}\cdot\text{t}$ to $104 \text{ kW}\cdot\text{t}$ on to tone that it contingently diminishing of terms of freezing.

Keywords: fruit and vegetable raw material, process of freezing, low temperature of long duration storage, energy saving technology, thermophysical descriptions, temperature field, thermal stream.