

ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧУВАННЯ ТА ТОРГІВЛІ

**КІШТЕЛА ЛЮДМИЛА ВАСИЛІВНА**

УДК 664.8: 658.562.5

**НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЦЕСІВ І ОБЛАДНАННЯ ВИРОБНИЦТВА  
ХАРЧОВИХ НАПІВФАБРИКАТІВ З  
НЕТРАДИЦІЙНОЇ ПЛОДООВОЧЕВОЇ СИРОВИНИ**

Спеціальність 05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних  
та фармацевтичних виробництв

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Харків - 2005

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському державному університеті харчування та торгівлі Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор,  
заслужений діяч науки і техніки України  
**Черевко Олександр Іванович**,  
Харківський державний університет харчування та торгівлі,  
ректор, завідувач кафедри процесів, апаратів та  
автоматизації харчових виробництв

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, чл-кор. НАН України  
**Снежкін Юрій Федорович**,  
Інститут технічної теплофізики НАН України,  
заступник директора

доктор технічних наук, професор  
**Погожих Микола Іванович**,  
Харківський державний університет харчування та торгівлі,  
завідувач кафедри енергетики та фізики

доктор технічних наук, професор,  
заслужений діяч науки і техніки України  
**Онщенко Володимир Петрович**,  
Одеська державна академія холоду,  
завідувач кафедри інженерної теплофізики

Провідна установа: Національний університет харчових технологій Міністерства  
освіти і науки України, м. Київ, кафедра технологічного  
обладнання харчових виробництв

Захист відбудеться “7” грудня 2005 р. о 10 годині на засіданні спеціалізованої  
вченої ради Д 64.088.01 Харківського державного університету харчування та  
торгівлі за адресою: вул. Клочківська, 333, 61051, м. Харків-51.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського державного  
університету харчування та торгівлі за адресою: вул. Клочківська, 333, 61051, м.  
Харків-51.

Автореферат розісланий “4” листопада 2005 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Дубініна А.А.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Забезпечення конкурентоспроможності виготовлених в Україні продуктів харчування високої якості, зменшення втрат сировини та зниження ресурсовитрат на їх виробництво є актуальною проблемою теперішнього часу. З огляду на несприятливу екологічну ситуацію в Україні підвищився попит на продукти з плодоовочевої сировини, які містять значну кількість біологічно активних речовин (БАР). У той же час потреба у вітчизняних консервованих продуктах на плодоовочевій основі задовольняється не більше ніж на 20 %. Розширення асортименту консервованої продукції з рослинної сировини можливо за рахунок використання нетрадиційної плодоовочевої сировини – дикорослої плодово-ягідної та пряно-овочевої. На теперішній час в Україні можливо збирати до 1 млн. тонн дикорослої плодово-ягідної сировини (ДПС) у рік, однак фактично заготівля складає усього 20 тис. тонн, недостатньо використовуються і пряні овочі. Основною причиною такої ситуації варто вважати відсутність прогресивних способів переробки плодоовочевої сировини. Використання дикорослої сировини особливо сприятливо для виробництва плодово-ягідних паст і цукатів, що відрізняються великим вмістом БАР. Існуюче обладнання по виробництву паст і цукатів характеризується великою тривалістю обробки, значними енерговитратами і металоємністю, втратами вітамінів і інших БАР. Інтенсифікація процесів переробки плодоовочевої сировини можлива шляхом впровадження нових способів і обладнання, використання яких дозволяє знизити ресурсовитрати на їх виробництво і підвищити якість готової продукції.

Одним з основних недоліків виробництва плодовоовочевих паст і цукатів є значні втрати БАР при тепловій обробці сировини, особливо при концентруванні, тривалість якого в залежності від виду готового продукту може складати від 60 до 300 хв., при цьому втрати вітаміну С досягають 30...70 %. Перспективним способом інтенсифікації процесів випарювання пастоподібних продуктів з плодоовочевої сировини є використання плівкового плинну рідких продуктів під дією сили тяжіння, відцентрових сил і супутнього парового потоку, що має місце в роторних плівкових апаратах (РПА). Використання РПА дасть можливість значно скоротити тривалість термообробки продуктів, знизити втрати БАР, здійснити їхню ефективну гомогенізацію, зменшити габарити обладнання й експлуатаційні витрати. Однак відсутність теоретичних і експериментальних досліджень гідродинамічних і тепломасообмінних процесів у РПА для систем високої в'язкості стримує широке використання цього апарата для концентрування пастоподібних продуктів з дикорослої плодово-ягідної сировини.

У зв'язку з цим наукове обґрунтування ресурсозберігаючих процесів виробництва харчових напівфабрикатів з нетрадиційної дикорослої плодово-ягідної і пряноовочевої сировини, розробка нових способів і високоефективного обладнання для забезпечення високої якості продуктів є основною проблемою, що вирішується у цієї роботі.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконувалася відповідно тематичним планам наукових досліджень кафедри процесів, апаратів та автоматизації харчових виробництв ХДУХТ у рамках держбюджетних тем: № 8-91-96Б “Удосконалення процесів переробки харчових

продуктів”; № 5-97-2000Б “Розробка та дослідження процесів та апаратів для переробки сільськогосподарської сировини”; № 7-01-05В “Інтенсифікація процесів переробки харчової сировини”; № 2-04-06Б, номер держреєстрації 0104U002573 “Підвищення ефективності переробки сільськогосподарської сировини”.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є наукове обґрунтування інтенсифікації тепломасообмінних процесів при виробництві харчових напівфабрикатів з нетрадиційної плодоовочевої сировини і розробка ресурсозберігаючих способів та обладнання для їх реалізації.

Відповідно поставленій меті сформульовані наступні основні задачі досліджень:

- проаналізувати існуючі процеси переробки плодоовочевої сировини і визначити напрямки інтенсифікації виробництва харчових напівфабрикатів з нетрадиційної плодоовочевої сировини (НПОС);

- розробити фізико-математичну модель кінетики дифузії розчинених речовин у продукти на стадії попередньої обробки сировини і визначити раціональні інтервали тривалості процесів;

- розробити фізико-математичні моделі гідродинамічних і тепломасообмінних процесів при концентруванні фруктових пюре в РПА і визначити можливий ступінь їх інтенсифікації;

- розробити модель кінетики уварювання дикорослих плодів у цукровому сиропі для виробництва цукатів і запропонувати раціональний режим його проведення;

- визначити реологічну модель для структурно-механічних властивостей пастоподібної плодоовочевої сировини, установити зв'язок між структурно-механічними характеристиками і режимами обробки сировини, а також консистенцією виробів на основі НПОС;

- експериментально дослідити механізми тепломасоперенесення для процесів концентрування фруктових пюре з використанням ДПС і уварювання дикорослих плодів при готуванні цукатів, а також деформаційні характеристики овочевої суміші при готуванні пастоподібних напівфабрикатів із прямих овочів і визначити раціональні режими їх здійснення;

- дослідити структурно-механічні властивості фруктових пюре і паст з застосуванням ДПС і виявити вплив різноманітних технологічних факторів та параметрів процесу концентрування в РПА на їх консистенцію;

- розробити способи виробництва харчових напівфабрикатів з НПОС і оцінити якість отриманих продуктів;

- розробити прогресивне обладнання для реалізації попередньої й основної стадій обробки ДПС, скласти на нього проектну документацію, розробити лінії по виробництву фруктових паст і цукатів із ДПС;

- оцінити соціально-економічну ефективність науково-технічних розробок і здійснити заходи щодо упровадження їх у виробництво.

*Об'єктом дослідження* є гідродинамічні, теплові і масообмінні процеси і режими роботи обладнання для виробництва паст і цукатів із НПОС.

*Предметом дослідження* є пасти з дикорослої плодово-ягідної і культивуємої

плодової сировини, цукати з дикорослих плодів, пасти з пряних овочів і зелені, а також обладнання для концентрування рослинної сировини.

*Методи дослідження:* фізико-математичне моделювання гідродинаміки і тепломасообміну, експериментальні методи з використанням сучасних вимірювальних засобів, статистична обробка результатів експериментальних досліджень.

### **Наукова новизна одержаних результатів**

В основу теоретичних і експериментальних досліджень покладена наукова концепція, що полягає в створенні ресурсозберігаючих процесів, підвищенні якості готових виробів при виробництві пастоподібних напівфабрикатів з нетрадиційної плодоовочевої сировини за рахунок інтенсифікації тепломасообміну шляхом комплексного підходу до регулювання процесів гідродинаміки плину в'язкого продукту, теплопідведення, дифузії і реологічних властивостей продуктів, при цьому плин продукту відбувається в полі дії відцентрових сил, а теплопідведення змінюється параметрами парогазової фази.

На підставі проведених теоретичних і експериментальних досліджень вперше:

- на основі модельного розрахунку профілю швидкостей плину в'язкого продукту в РПА визначено вплив конструктивних параметрів плівкоутворюючих елементів ротору на інтенсивність циркуляції продукту в плівці, що забезпечує ефективність тепломасообміну під час концентрування фруктових пюре;

- розроблено фізико-математичну модель тепломасообмінних процесів концентрування фруктових пюре в РПА, яка враховує гідродинаміку плину елементарного об'єму продукту по спіралі, що дозволяє розрахувати коефіцієнти тепломасовіддачі в залежності від товщини плівки продукту і частоти обертання ротора;

- отримано математичну модель випаровування вологи в РПА для визначення розподілу температури і концентрації сухих речовин у продукті по висоті апарата, що дозволяє вибрати раціональний режим обробки термолабільних пастоподібних продуктів і розрахувати основні конструктивні розміри апарата;

- отримано модель кінетики дифузійних процесів під час уварювання цукатів у цукровому сиропі і доведено, що регулюванням парціального тиску пари в періодах варення й охолодження скорочується тривалість процесу термообробки плодів;

- розроблено методику розрахунку тривалості попередньої обробки плодів, у якій механізм процесу розглядається, як самодифузія води з розчиненими в ній сухими речовинами, що використано при визначенні раціональних параметрів низки дифузійних процесів;

- отримано критеріальне рівняння для розрахунку коефіцієнта тепловіддачі під час концентрування фруктових пюре в РПА, що враховує вплив гравітаційного стікання плівки, її рух при обертанні лопаті ротора, перемішуючу дію пухирців пари, конструктивних параметрів лопаті ротора на гідродинаміку плину;

- отримано реологічні залежності для моделювання деформування пастоподібних систем з рослинної сировини в умовах різних режимів змінення швидкостей напруження і деформації, що дозволяє уточнити конструктивні й енергетичні характеристики технологічного обладнання.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає у:

-визначенні раціональних режимів концентрування фруктових пюре з використанням дикорослої плодово-ягідної сировини в РПА;

-розробці способів виробництва цукатів з дикорослих плодів, фруктових паст з використанням ДПС, пастоподібного напівфабрикату з пряних овочів і зелені, раціональних режимів їх здійснення, а також затвердженні нормативної документації на виготовлення фруктових паст і цукатів із ДПС;

-розробці обладнання для попередньої обробки дикорослої сировини і концентрування фруктових пюре з використанням ДПС (УПТОДС-150 і РПА-200-0,82), затвердженні проектно-конструкторської документації на це обладнання;

-створенні методики, програмного забезпечення для визначення основних технологічних і конструктивних характеристик роторних плівкових апаратів для концентрування фруктових паст, що використано при розробці випарного обладнання.

На наукові розробки отримані авторське посвідчення СРСР на винахід №1364275 “Способ приготовления консервированного полуфабриката из сырья, содержащего свежую зелень пряных овощей”, патент СРСР № 1777556 “Способ приготовления отделочных полуфабрикатов для кондитерских изделий из плодов”, патент РФ №2039462 “Способ приготовления фруктового фарша”, деклараційні патенти України на винаходи № 34072 А „Спосіб виробництва фруктової пасти”, №38061 А „Спосіб виробництва пасти з дикоплодної сировини”, №53975 “Пристрій для попередньої теплової обробки дикорослої сировини”, №45609 А “Тонкоплівковий роторний апарат”, № 50169 А “Тонкоплівковий роторний випарник”, № 49359 А “Композиція рецептурних компонентів при виробництві пасти з дикоплодної сировини”.

*Реалізація роботи.* Проектна документація на розроблене обладнання впроваджена на підприємствах м.Харкова: Дослідницьке виробництво ІПМАШ НАН України (акт від 21.01.2002 р.); ТОВ Науково-виробнича фірма “Ізотерм” (акт від 11.01.2000 р.); АТ УКРНІХІММАШ (акт від 01.08.2002 р.). Апробацію дослідно-експериментальних зразків обладнання і технологічних процесів виробництва фруктових паст і цукатів з дикорослої плодово-ягідної сировини проведено на підприємствах: ТОВ “Сахновщанський завод продтоварів” Сахновщанського району Харківської області (акт від 20.12.2002 р.), ВАТ Буринський завод продтоварів Сумської області (акт від 21.10.2004 р.), ВАТ “Роменська кондитерська фабрика” (акт від 22.08.2005 р.).

Розроблено техніко-економічне обґрунтування організації лінії з виробництва фруктових паст з застосуванням ДПС продуктивністю 87 тонн пасти на рік. Використання пристрою для попередньої теплової обробки дикорослої сировини і роторного плівкового апарата для концентрування пастоподібних продуктів дозволило знизити енергетичні, капітальні та експлуатаційні витрати. Економічний ефект складає 158,7 тис. грн. (в цінах на 01.04.05), термін окупності 1,3 роки.

**Особистий внесок здобувача** полягає в: аналізі стану проблеми, формулюванні наукової концепції та мети досліджень, постановці задач досліджень, складанні програм досліджень і керівництві за їх реалізацією; участі у проведенні

патентного пошуку та наукових експериментів, обробці дослідних даних, узагальненні отриманих результатів і формулюванні висновків, підготовці матеріалів до публікації та складанні заявок на винаходи, розробці нормативної та проектної документації і проведенні заходів із упровадження науково-технічних розробок у виробництво. Ряд експериментальних досліджень виконано в процесі керування науковою роботою аспіранта Загорулька О.Є. і здобувача Афукової Н.О. Частина робіт по математичному узагальненню результатів досліджень виконано разом з д.т.н. Синєкопом М.С.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертаційної роботи доповідались, обговорювались та були схвалені на міжнародній конференції “Перспективы развития массового питания и торговли на пути к рыночной экономике” (Харків, 1994 р.), міжнародній науково-практичній конференції “Розвиток масового харчування, готельного господарства і туризму в умовах ринкових відносин” (Київ, 1994 р.), 9 міжнародній конференції „Удосконалення процесів та апаратів хімічних, харчових та нафтохімічних виробництв” (Одеса, 1996 р.), міжнародній науково-технічній конференції “Современные проблемы машиностроения и технический прогресс” (Донецьк, 1996 р.), міжнародній науково-технічній конференції “Холод и пищевые производства” (Санкт-Петербург, 1996 р.), Всеукраїнській науково-практичній конференції “Екологія і економіка” (Львів 1997 р.), науково-практичній конференції “Стан і проблеми розвитку торгівлі й харчування в Україні” (Харків, 1997 р.), міжнародній науково-практичній конференції „Проблеми якості у громадському харчуванні, готельному господарстві і туризмі” (Київ, 1998 р.), 2-й міжнародній науково-практичній конференції “Продовольственный рынок и проблемы здорового питания” (Орел, 1999 р.), міжнародній науково-практичній конференції “Научные и практические аспекты переработки мяса и мясопродуктов” (Харків, 2001 р.), 67-й науковій конференції студентів, аспірантів і молодих вчених (Київ, 2001 р.), міжнародній науково-технічній конференції “Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке” (Санкт-Петербург, 2001 р.), міжнародних науково-практичних конференціях “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України” (Харків, 2001...2002 рр.), міжнародній науково-технічній конференції “Актуальні проблеми харчування: технологія та обладнання, організація і економіка” (Слав’яногорськ, 2001 р.), міжнародній науково-методичній конференції “Стратегічні напрямки розвитку підприємств харчових виробництв і торгівлі” (Харків, 2002 р.), міжнародній науково-практичній конференції “Управлінські та технологічні аспекти розвитку підприємств харчування та торгівлі” (Харків, 2003 р.), міжнародній науково-технічній конференції “Актуальні проблеми харчування: технологія та обладнання, організація і економіка” (Донецьк, 2003 р.), міжвузівській науково-практичній конференції “Проблеми техніки і технології харчових виробництв” (Полтава, 2004 р.), наукових конференціях професорсько-викладацького складу ХДУХТ (Харків, 1994...2004 рр.). Зразки розробок були представлені на міжнародних виставках-ярмарках “Наука Харківщини - 2000” (Харків, 2000 р.), “Слов’янський базар” (Харків, 2000 р.), “Слобожанська весна. Харківські торги” (Харків, 2001 р.), “Слобожанська осінь. Харківські торги” (Харків, 2001 р.), “Наука Харківщини-2002”

(Харків, 2002 р.), “Регіональна співдружність” (Харків 2003 р.), “Наука Харківщини – виробництву” (Харьков, 2004 г.).

**Публікації.** За результатами досліджень опубліковано 74 наукові праці, у тому числі: 41 стаття (з них 29 у наукових фахових виданнях, затверджених ВАК України), 1 авторське посвідчення СРСР, 1 патент СРСР, 1 патент РФ, 6 деклараційних патентів України на винаходи, 24 тези доповідей на конференціях.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається зі вступу, 7 розділів, висновків, списку використаних джерел, що включає 374 найменування, у тому числі 51 іноземних, і додатків. Роботу викладено на 271 сторінках, вона містить 62 рисунка, 32 таблиці та 6 додатків.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи та її значення для України, сформульовано мету і задачі дослідження, викладено наукову концепцію, новизну і практичне значення одержаних результатів, наведено відомості щодо реалізації та апробації роботи.

**У першому розділі** „Аналіз стану проблеми виробництва харчових продуктів з нетрадиційної плодоовочевої сировини” проведено аналітичний огляд процесів і обладнання для переробки нетрадиційної плодоовочевої сировини – дикоплодної і пряноовочевої, наведено відомості щодо зміни фізико-хімічних властивостей продуктів під час теплової обробки. Відзначено, що перспективним напрямком концентрування пастоподібних продуктів з плодоягідної сировини є використання плівкової течії рідини, що має місце в роторних плівкових апаратах. Проведений аналіз стану математичного моделювання процесу випаровування в апараті показав, що більшість досліджень теплогідродинамічних характеристик плівкових течій в апараті присвячено вивченню процесів теплоперенесення під час турбулентних режимів течії рідини, дослідження ламінарного режиму характерного для високов'язких рідин відсутні. Наведено відомості щодо структурно-механічних властивостей плодоовочевої сировини і готових виробів.

На основі аналізу літературних джерел сформульовані задачі дослідження, що спрямовані на досягнення мети дисертаційної роботи.

**У другому розділі** „Наукове обґрунтування і розробка моделей процесів обробки нетрадиційної плодоовочевої сировини” розглянуто напрямки інтенсифікації процесів переробки нетрадиційної плодоовочевої сировини.

В залежності від виду сировини і готового виробу для усунення негативних властивостей НПОС, зменшення втрат маси, збереження харчової і біологічної цінності сировини можливо застосувати різні варіанти попередньої підготовки сировини, серед яких бланшування плодів у пряному маринаді або розчині кухонної солі і лимонної кислоти, підпресування стружки з прямих овочів у розчинні кухонної солі і т. ін.. При цьому мають місце дифузійні процеси проникнення розчину в продукт. Механізм процесу розглядається як самодифузія води з розчиненими у неї сухими речовинами, тому що концентрація розчину мала ( $C_p=10\%$ ). Рішенням крайової задачі дифузії розчинених речовин в плід отримано вираз для приблизного



визначення тривалості процесу  $\tau_k$ , коли середня концентрація розчину в продукт  $\bar{C}$  досягає 90...95 % початкової, тобто  $\bar{C}(\tau_k) = (0,90...0,95)C_p$

$$\tau_k \approx (0,18...0,25) \frac{r_0^2}{D_c}, \quad (1)$$

де  $r_0$  – визначений розмір продукту, м;  $D_c$  – коефіцієнт самодифузії води, м<sup>2</sup>/с.

На основі єдиного теоретичного підходу встановлені раціональні значення параметрів режимів попередньої обробки НПОС (табл. 1).

Таблиця 1

Параметри процесу дифузії розчинених речовин в продукт

| Витримування  | Темпера-тура<br>$t, ^\circ\text{C}$ | Коефіцієнт самодифузії<br>$D_c \cdot 10^9, \text{ м}^2/\text{с}$ | Визначений розмір<br>$r \cdot 10^3, \text{ м}$ | Тривалість процесу<br>$\tau_k, \text{ с}$ |
|---|-------------------------------------|--|--|---|
| 1. Плоди в розчині $\text{NaCl}$ і лимонної кислоти                   | 20...25                             | 2,5  | 5,0...6,0                                      | 1800...2400                               |
| 2. Плоди в пряному маринаді   | 70...75                             | 8,5  | 5,0...6,0                                      | 600...900                                 |
| 3. Стружка з прямих овочів у розчині $\text{NaCl}$ і лимонної кислоти | 20...25                             | 2,5  | 1,2...1,5                                      | 200...280                                 |

За основний тепловий процес виробництва пастоподібних продуктів з використанням ДПС обрано випаро-вудання вологи у РПА. Ефективність застосування РПА під час випаро-вудання фруктових пюре залежить від характеру переміщення продукту в апараті, а також від інтенсивності його перемішування поблизу лопатей ротора. Гідродинамічна модель плинину продукту в РПА в двомірній постановці отримана за використанням шарнірних зрізуючих рамок. Поперечний перетин області течії рідини  $\Omega$  з такою рамкою, що має форму

Рис. 1. Геометрія області  $\Omega$  для визначення поля швидкостей навколо зрізуючої рамки:  $v_r$  – лінійна швидкість лопаті;  $\delta$  – товщина плівки по осі  $y$ ;  $e$  – границя області по осі  $x$ ;  $f(x)$  – границя вільної поверхні області

трикутника  $ABC$ , показано на

рис. 1.

Для розрахунку гідродинаміки течії рідини в РПА застосовано рівняння Нав'є-Стокса для плоского плинину рідини. Рішення крайової задачі для поля швидкостей отримано чисельним методом з використанням R-функції, який дозволяє врахувати складну конфігурації області  $\Omega$ .

$$v = v_0(x, y) + \omega(x, y) \sum_{k=1}^n c_k \varphi_k(x, y), \quad (2)$$

де  $\varphi_k(x, y)$  - елементи повної системи функцій;  $c_k$  - коефіцієнти розкладання, що підлягають визначенню

$$\varphi_k(x, y) = \left(\frac{2x}{e} - 1\right)^i \left(\frac{2y}{\delta_2} - 1\right)^j. \quad (3)$$

Для визначення впливу величини кута  $\gamma$  зрізуючої крайки шарнірної рамки на гідродинамічні процеси розрахована відносна швидкість руху продукту  $K_V = v/v_r$  у відносних координатах  $(x/e, y/\delta)$  області  $\Omega$ , що розглядається, для фіксованих значень  $\gamma$ :  $6^\circ$ ,  $12^\circ$ ,  $21^\circ$  (рис. 2). Результати розрахунку профілів швидкостей руху рідини для різних кутів зрізуючої крайки лопаті показали, що середня відносна швидкість  $\bar{K}_V$  має максимальне значення для  $\gamma=6^\circ$  (табл. 2), що приводить до інтенсивної циркуляції продукту і підтверджує високу ефективність застосування зрізуючої рамки в РПА для випаровування в'язких фруктових пюре.

Рис 2. Профіль відносних швидкостей руху продукту  $K_V$  навколо лопаті зі зрізуючим кутом  $6^\circ$

Таблиця 2

Значення середньої відносної швидкості плину продукту в області  $\Omega$

| Найменування величини            | Кут зрізуючої крайки, $\gamma$ |                       |                       |
|----------------------------------|--------------------------------|-----------------------|-----------------------|
|                                  | $6^\circ$                      | $12^\circ$            | $21^\circ$            |
| Середня відносна швидкість $K_V$ | 0,625                          | 0,586                 | 0,482                 |
| Дисперсія швидкості $\sigma$     | $4,649 \cdot 10^{-3}$          | $4,158 \cdot 10^{-3}$ | $4,005 \cdot 10^{-3}$ |

При моделюванні тепломасообмінних процесів концентрування в'язких пастоподібних продуктів в РПА прийнято, що елементарний об'єм продукту рухається в апараті за спіраллю (рис. 3). Це дозволяє визначити змінування температури і концентрації за товщиною плівки і висотою апарата.

Складові швидкості  $(v_x, v_y, v_z)$  визначаються:  $v_x$  - дією лопаті ротора,  $v_y$  - мірою перемішування рідини,  $v_z$  - дією гравітаційного прискорення.

$$v_x \approx \frac{2v_r^2 \rho h^2}{D\eta}; \quad (4)$$

$$v_y = 0.8 \frac{h^3 v_r^2 \rho}{D\eta\delta}; \quad (5)$$

$$v_z = \frac{\rho g \delta^2}{3\eta}, \quad (6)$$

Рис. 3. Схема руху елементарного об'єму продукту в РПА:  
 $q$  – питомий тепловий потік

де  $v_r$  - лінійна швидкість лопаті,  $\text{хв}^{-1}$ ;  $h$  – визначений розмір лопаті, м;  $D$  – діаметр апарата, м;  $\delta$  – товщина плівки рідини, м;  $\rho$  – густина продукту,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\eta$  – коефіцієнт динамічної в'язкості,  $\text{Па}\cdot\text{с}$ ;  $g$  – гравітаційне прискорення,  $\text{м/с}^2$ .

Рішення рівнянь конвективної тепломасовіддачі у залежності від товщини плівки і частоти обертання ротору

$$\alpha = \frac{\lambda v_y}{a \left( 1 - e^{-v_y \frac{\delta}{a}} \right)}; \quad \beta_C = \frac{v_y}{\left( 1 - e^{-v_y \frac{\delta}{a_m}} \right)}, \quad (7); (8)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі,  $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ ;  $\lambda$  - коефіцієнт теплопровідності,  $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ;  $a$  і  $a_m$  – коефіцієнти температуропровідності і масопровідності,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $\beta_C$  – коефіцієнт масовіддачі, віднесений до концентрації,  $\text{м/с}^2$ ;  $\beta = \beta_C \rho / \Delta p(t)$ ,  $\text{кг}/(\text{м}^2\cdot\text{с}\cdot\text{Па})$ ;  $\Delta p(t)$  - різниця парціальних тисків за текучою температурою продукту,  $\text{Па}$ .

Результати розрахунку коефіцієнтів тепломасовіддачі в залежності від товщини плівки продукту і частоти обертання ротору (рис. 4) показують, що зі збільшенням товщини плівки коефіцієнти тепломасовіддачі зменшуються, а частота впливає тільки на величину коефіцієнта тепловіддачі.

В результаті розв'язання рівнянь теплового і матеріального балансу отримано вирази для визначення розподілу температури  $t(z)$  і концентрації  $a_c(z)$  продукту за висотою апарата

$$t(z) = t_c - \Delta t \theta(z); \quad (9)$$

$$a_c(z) = \frac{1}{1 + W(z)}, \quad (10)$$

де  $\theta = (t_c - t)/(t_c - t_0)$ ;  $t_c, t_0, t$  – відповідно, температура стінки, початкова і поточна продукту,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\theta(z) = 1 + \frac{\kappa}{2\kappa_2} th\left(\frac{\kappa}{2} \cdot \frac{\tau_a}{L} z\right)$ ;  $\kappa = \sqrt{\kappa_1^2 - 4\kappa_0\kappa_2}$ ,  $(11)$

$$\kappa_0 = -\frac{r\beta\gamma_0}{c\rho\delta\Delta t}; \quad \kappa_1 = \frac{\alpha\Delta t - r\beta\gamma_0}{c\rho\delta\Delta t}; \quad \kappa_2 = -\frac{r\beta\gamma_2}{c\rho\delta\Delta t} \quad (12)$$

$\tau_a$  – час перебування елементарного об'єму в РПА, с;  $z, L$  – висота поточна і камери, м;  $W$  – вологовміст продукту, %,  $W = m_e/m_c$ ;  $m_e, m_c$  – відповідно, маса води і

$$\text{сухих речовин, кг; } W(z) = W_o - A_1 \frac{z}{L} \tau_a - A_2 th\left(\frac{\kappa}{2} \cdot \frac{\tau_a}{L} z\right) - A_3 \ln\left(\cos\left(\frac{\kappa}{2} \cdot \frac{\tau_a}{L} z\right)\right); \quad (13)$$

$$A_1 = \frac{\beta}{4} \cdot \frac{4(\gamma_o + \gamma_1 + \gamma_2)\kappa_2 - \kappa(\gamma_1 + 2\gamma_2)}{\rho\delta\kappa_2}, \quad A_2 = \frac{\beta}{\rho\delta\kappa_2} (\gamma_1 + 2\gamma_2), \quad A_3 = \frac{\beta}{2} \cdot \frac{\kappa\gamma_2}{\rho\delta\kappa_2^2}, \quad (14)$$

$\gamma_o = p(t_c) - p_o$ ;  $\gamma_1 = \frac{dp(t_c)}{dt} \Delta t$ ;  $\gamma_2 = \frac{d^2 p(t_c)}{dt^2} \cdot \frac{\Delta t^2}{2}$ ;  $p, p_o$  – відповідно, парціальний тиск пари над плівкою продукту і в апараті, Па.

Розподіл концентрації сухих речовин і температури продукту за висотою апарата (рис. 5) показує, що температура змінюється тільки на початкової ділянці, а вологовміст – інтенсивно по всій висоті камери, причому зі зменшенням кута зрізуючої крайки рамки лопаті коефіцієнт тепловіддачі збільшується.

Отримані залежності дозволяють обрати режим обробки термолабільних продуктів і розрахувати основні конструктивні розміри апарату – діаметр і висоту

$$D = \frac{3G\eta}{\pi\rho^2 g\delta^3}; \quad L = \frac{2\rho g\delta^2}{3\eta\beta} \cdot \frac{2\Delta W\rho\delta\kappa_2^2 - 2\beta\gamma_1\kappa_2 - 4\beta\gamma_2\kappa_2 + \beta\gamma_2\kappa \ln 2}{\gamma_2\kappa^2 + 4\kappa_2^2(\gamma_o + \gamma_1 + \gamma_2) - (\gamma_1 + 2\gamma_2)\kappa \cdot \kappa_2}. \quad (15); (16)$$

Під час виробництва цукатів з дикорослих плодів основною тепловою обробкою є уварювання плодів у цукровому сиропі, що відбувається у вакуум-випарювальному апараті. Проведено розрахунок кінетики концентрації сухих речовин у плодах під час уварення шляхом рішення крайової задачі нестационарної дифузії

$$\bar{C}_\kappa = C_1 - (C_1 - C_n) e^{-A\tau_\kappa}, \quad (17)$$

де  $C_1, C_n, \bar{C}_\kappa$  – відповідно, концентрація в рідкій фазі сиропу, початкова і середня у плоді наприкінці процесу, %;  $A=3D/r_0^2$ ;  $D$  – коефіцієнт дифузії цукру в плід, м<sup>2</sup>/с;  $r_0$  – радіус плоду, м;  $\tau_\kappa$  – тривалість процесу, с.

Рис. 5. Розподіл за висотою РПА в продукті (а) концентрації сухих речовин; (б) температури при куті  $\gamma$  зрізуючої крайки шарнірної рамки: - 21°; - 12°; - 6°

Під час уварювання плодів періоди варення у вакуум-апараті за тиском 70...72 кПа чергувалися з періодами охолодження за тиском 30...40 кПа, при цьому коефіцієнт дифузії для періоду варення складав  $D_g=3,8 \cdot 10^{-9}$  м<sup>2</sup>/с, для охолодження  $D_o=2,1 \cdot 10^{-9}$  м<sup>2</sup>/с. Використання такого режиму дозволяє зберегти гарний зовнішній вигляд плодів і зменшити тривалість уварювання.

Для розрахунку технологічного обладнання необхідно мати реологічну модель пастоподібного продукту з НПОС, що підлягає деформуванню. Найбільш точно відображає поведінку цих продуктів в процесах навантаження і розвантаження реологічна модель, що утворюється паралельним з'єднанням моделі Максвела (послідовне з'єднання пружного та в'язкого елементів) і елемента Гука. Рівняння такої моделі має вигляд

$$\frac{\eta}{G_2} \frac{d\theta}{d\tau} + \theta = G_1 \varepsilon + \eta \frac{G_1 + G_2}{G_2} \frac{d\varepsilon}{d\tau}, \quad (18)$$

де  $G_1, G_2$  – пружні елементи, Па;  $\theta$  – напруження зсуву, Па;  $\varepsilon$  – деформація, м;  $\eta$  – коефіцієнт динамічної в'язкості, Па·с.

На основі рівняння (18) одержано реологічні залежності для моделювання деформування в умовах різних режимів зміни швидкостей напруження і деформації, що дозволяє уточнити конструктивні й енергетичні характеристики технологічного обладнання.

**У третьому розділі** „Об'єкти, методи досліджень і експериментальні установки” наведено характеристику сировини, методики та методи досліджень гідродинамічних, тепломасообмінних, структурно-механічних, фізико-хімічних, мікробіологічних і органолептичних показників.

Схему експериментальної установки для дослідження гідродинаміки і теплообміну під час концентрування пюре з ДПС в РПА наведено на рис. 6.

В експериментах вимірювались наступні параметри: температура продукту на вході і виході з моделі, температура стінки моделі, витрата продукту, концентрату і конденсату, число обертів ротору, потужність, що витрачається на обертання ротору і нагрівачів, тиск в системі. Вимірювання середньої температури стінки в трьох перерізах проводили за допомогою мідь-константанових термопар. При проведенні дослідів використовували мікроконтролер АТМega8-16PI.

Рис. 6. Схема експериментальної установки для дослідження процесів гідродинаміки і теплообміну: 1 – модель РПА; 2 – роторний пристрій; 3 – електродвигун; 4 – ніхромові спіралі; 5 – вимірювальний комплект К-505; 6 – мікроконтролер АТМega8-16PI; 7 – тен; 8 - бак для вихідного продукту; 9 – ротаметр; 10 – об'ємний витратомір; 11 – конденсатор; 12 – вакуумметр; 13, 14 – регулюючі вентилі; 15 – термопари; 16 – датчик частоти

В дослідях початкові параметри змінювали в наступних межах: витрата продукту  $G=(0,10\dots2,2)\cdot 10^3$  кг/с; частота обертання ротору  $n=0,15\dots1,6$  с<sup>-1</sup>; початкова температура продукту  $t_p=50\dots55^\circ\text{C}$ ; середня температура стінки  $\bar{t}_{cm}=60\dots80^\circ\text{C}$ ; тиск в системі  $p=13\dots15$  кПа.

В експериментах застосовувались фруктове пюре з початковою концентрацією сухих речовин 14...15 %. В якості плівкоутворюючих елементів ротору використовували звичайні шарнірні лопаті, шарнірні зрізуючі рамки, шарнірні лопаті зі смугою, що зрізує.

Структурно-механічні показники пастоподібних продуктів з НПОС визначали на ротаційному віскозиметрі Реотест-2. Питому теплоємність прямих овочів вимірювали на диференціальному скануючому калориметрі ДСМ-2М. Дослідження фізико-хімічних і мікробіологічних показників проводили за стандартними методиками, органолептичних – за методикою Тільгнера з урахуванням коефіцієнта важливості окремих показників. Обробку отриманих результатів досліджень проводили методами математичної статистики і кореляційного аналізу.

У четвертому розділі „Дослідження процесів переробки нетрадиційної плодоовочевої сировини” експериментально визначено вплив конструктивних параметрів плівкоутворюючих елементів ротора і параметрів його роботи на ефективність гідродинамічних і теплообмінних показників концентрування фруктових пюре з застосуванням ДПС в РПА. Результати досліджень залежності потужності на валу ротора від витрати продукту при використанні різних типів шарнірних лопатей показують (рис. 7), що за використанням шарнірної лопаті у вигляді зрізуючої рамки потужність на обертання ротора від витрати продукту зменшується порівняно зі звичайною шарнірною лопаттю в середньому на 24 % і зі шарнірною лопаттю зі смугою, що зрізує, на 10 % і це свідчить про зниження негативного впливу носової хвилі та більш сприятливу гідродинаміку плинину продукту.

Коефіцієнт тепловіддачі значно залежить від щільності зрошення поверхні теплообміну і його максимальне значення приходить на ділянку, де масова витрата складає  $G=(1,2\dots 1,5)\cdot 10^{-3}$  кг/с (рис. 8), що відповідає умові переходу від основного режиму плівкоутворення у післяосновний. Коефіцієнт тепловіддачі на цьому етапі при використанні шарнірних рамок з кутом зрізуючої крайки  $6^\circ$

Рис. 7. Залежність потужності на валу ротора від витрати продукту:  
**X** – шарнірна лопать;  $\Delta$  - шарнірна зрізуюча рамка;  $\circ$  – шарнірна лопать зі смугою, що зрізує

Рис. 8. Залежність коефіцієнта тепловіддачі від витрати продукту: **X** – шарнірна лопать; шарнірні рамки з кутом зрізуючої крайки:  $\Delta$  -  $6^\circ$ ,  $\circ$  –  $12^\circ$

порівняно зі звичайними шарнірними лопатями збільшується на 19 %, що є результатом інтенсивної циркуляції рідини в плівці.

У РПА з вертикальним корпусом конвективний теплообмін продукту, що випаровується, відбувається в умовах гравітаційного стікання плівки, на яке накладено збурюючий вплив лопатей ротора і дія пухирців пари, що перемішують. В результаті експериментального дослідження теплообміну під час концентрування фруктових пюре з застосуванням ДПС встановлено, що число Рейнольдса за осевою швидкістю  $Re=5,04 \cdot 10^{-3}$ , тобто плин продукту ламінарний. Аналіз загального масиву результатів експериментального дослідження теплообміну в РПА дозволив отримати критеріальне рівняння для визначення коефіцієнта тепловіддачі від робочої поверхні РПА до продукту

$$Nu = 5,942 \cdot Re_u^{0,053} Pr_r^{0,244} \left( \frac{v_{куп}}{v} \right)^{0,201} \left( \frac{v_{пл}}{v} \right)^{0,266} P_z^{0,051}, \quad (18)$$

де критерій Нуссельта  $Nu = \alpha \delta / \lambda$ , критерій Рейнольдса відцентровий  $Re_u = v \delta \rho / \eta$ , критерій Прандтля  $Pr = \eta c_p / \lambda$ . Поправки  $(v_{пл}/v)$ ,  $(v_{куп}/v)$  і  $P_z = (v z h / \pi D \delta)$  враховують вплив на теплообмін гравітаційного стікання плівки, кипіння в ній і геометрії кінцевих елементів лопаті відповідно;  $v_{куп}$  - швидкість руху пухирців пари;  $v_{пл}$  - швидкість гравітаційного стікання плівки уздовж осі РПА;  $v$  - лінійна швидкість руху кінцевих елементів лопаті;  $v$  і  $h$  - довжина і висота кінцевого елемента лопаті;  $z_l$  - число лопатей.

На рис. 9 приведено кореляційне поле для експериментальних і розрахункових значень обумовленого критерію Нуссельта. Відносна похибка критеріального рівняння складає 0,94 %.

Рівняння (18) справедливо в наступних межах:  $Re_u = (87,27 \dots 115,2) \cdot 10^{-3}$ ;  $v_{пл} = (3,190 \dots 5,561) \cdot 10^{-3}$  м/с;  $v_{куп} = (4,442 \dots 10,228) \cdot 10^{-3}$  м/с;  $(v_{пл}/v) = (2,502 \dots 4,362) \cdot 10^{-2}$ ;  $(v_{куп}/v) = (3,484 \dots 8,014) \cdot 10^{-2}$ .

Експериментально досліджено специфічні особливості концентрування пюре з застосуванням ДПС від 10...13 % до 28...30 % сухих речовин (СР). Як вихідний параметр, що визначає ефективність випаровування, обрано ступінь розподілу продукту  $K_p = V_{кон} / V_{вих}$ , де  $V_{кон}$ ,  $V_{вих}$  - об'єми концентрату і вихідного фруктового пюре, м<sup>3</sup> (рис. 10). Найбільш стабільне видалення вологи з продукту відбувається в межах витрати  $(0,8 \dots 1,8) \cdot 10^{-3}$  кг/с, де швидкість змінювання  $K_p$  максимальна. Встановлено область ефективного застосування РПА для випаровування фруктових пюре, що знаходиться в межах поверхневого навантаження  $0,044 \dots 0,122$  кг/(м<sup>2</sup>·с).

Рис. 9. Кореляційне поле для експериментальних і розрахункових значень критерію Нуссельта



Рис. 10. Залежність коефіцієнта розподілу продукту  $K_p$  від витрати продукту  $G$  при  $p=15$  кПа:  $\diamond$  -  $t=60^\circ\text{C}$ ;  $\square$  -  $t=70^\circ\text{C}$ ;  $\circ$  -  $t=80^\circ\text{C}$

Інтенсифікація уварювання плодів в 65 % цукровому сиропі, що готується на основі пряного маринаду, відбувається за рахунок регулювання залишкового тиску у вакуум-випарному апараті з 70...74 кПа в періодах варення до 30...40 кПа в періодах охолодження. Необхідна концентрація СР в плодах 70 % досягається після чотирьох циклів (варення – 13 хв, охолодження – 10 хв) обробки (рис. 11). Внаслідок випаровування вологи з сиропу його концентрація збільшується з часом від 65 до 82 %. Експериментально кінетична залежність концентрації СР в плодах співпадає з розрахунковою в межах похибки. Завдяки раціональним режимам підготовчих

Рис.11. Кінетика концентрації СР в процесі уварювання плодів із ДПС:  
 експериментальні в плодах; в сиропі;  
 розрахункові; відмічені періоди варення “В” і  
 охолодження “О”; I-IV цикли обробки

операцій з сировиною (витримування у пряному маринаді), а також зменшення залишкового тиску у вакуум-випарному апараті під час охолодження тривалість уварювання плодів в цукровому сиропі під час виробництва цукатів скоро-чується на 15...20 %.

Під час досліджень процесів виробництва пасти з прямих овочів і зелені вивчено кінетику деформаційних характеристик суміші подрібнених прямих овочів, що підпресовуються у розчині кухонної солі і лимонної кислоти (рис. 12). Залежно від розміру частинок овочів і

Рис. 12. Кінетика деформації овочевої суміші з товщиною стружки, мм:  
1,5; 3,5

напруження підпресовування встановлено, що під час підпресовування суміші головний вплив на тривалість цього процесу чинить величина періоду релаксації напруження в шарі продукту, що складає 617 с, а не дифузія розчину в продукт (табл. 3). З урахуванням періоду релаксації і наступної НВЧ-обробки овочів загальна тривалість процесу складає 770...800 с.

Таблиця 3

Параметри реологічної моделі суміші прямих овочів

| Лінійний розмір стружки $h_c$ , мм | Питоме напруження стискування $\sigma$ , кПа | Період релаксації $\tau_\sigma$ , с | Елементи моделі |             |                             |
|------------------------------------|--|-------------------------------------|-----------------|-------------|-----------------------------|
|                                    |  |                                     | $G_1$ , кПа     | $G_2$ , кПа | $\eta \cdot 10^{-5}$ , Па·с |
| 1,5                                | 2,17   | 617                                 | 20,416          | 8,512       | 37,14                       |
| 3,5                                | 2,17   | 378                                 | 37,680          | 3,290       | 11,40                       |

**В п'ятому розділі** „Розробка ресурсозберігаючих способів виробництва харчових напівфабрикатів з нетрадиційної плодоовочевої сировини” обґрунтовано доцільність цілеспрямованого збереження БАР в маловідхідних процесах переробки нетрадиційної плодоовочевої сировини.

Для розрахунку РПА, а також іншого технологічного обладнання в лінії для виробництва фруктових паст з застосуванням ДПС визначено структурно-механічні властивості пюре і паст в залежності від компонентного складу, температури, діаметру дисперсної фази і напруження деформації. Встановлено, що додавання ДПС у яблучне пюре збільшує граничне напруження зсуву в середньому на 45 %. Розмір частинок пастоподібної маси сировини значно впливає на якість, характер зв'язку компонентів продукту і його стан під час теплової обробки і зберігання. Зі зменшенням діаметра частинок продукту від 3 до 0,1 мм його ефективна в'язкість зменшується в 13...16 разів. Під час обробки в РПА за температури 60...70 °С структура продукту руйнується і його в'язкість зменшується від початкової (20°С) приблизно в 5,9 разів. Для апроксимації експериментальних даних отримано рівняння залежності ефективної в'язкості фруктового пюре з додаванням ДПС  $\eta_{ef}$  від швидкості зсуву  $\dot{\epsilon}$  і температури  $t$

$$\eta_{\text{ef}} = \left( \frac{B_0}{t + 273} \right)^b \dot{\epsilon}^{-[m_0(t+273)]^k}, \quad (19)$$

де  $B_0=451$ ;  $m_0=0,00287$ ;  $b=8,145$ ;  $k=4,258$  коефіцієнти регресивної залежності для пюре з яблук, хеномелесу та бузини чорної.

Карта рівнів ефективної в'язкості пюре в залежності від швидкості зсуву і температури приведено на рис. 13.

Під час концентрування в РПА під дією лопатей ротора продукт додатково подрібнюється. Визначено розмір дисперсної фази продукту на виході з апарата (рис. 14). Аналітична обробка кривої розподілу частинок пасти за розмірами дозволила визначити, що кількість частинок з діаметром  $1,1 \cdot 10^{-5}$  м у максимумі розподілу складає 38 %. Така гомогенізована дрібнодисперсна структура розширює технологічні можливості застосування паст і запобігає їх розшаруванню в процесі зберігання.

Рис. 13. Карта рівнів ефективної в'язкості Пюре з ДПС у залежності від Швидкості зсуву і температури

Рис. 14. Об'ємний розподіл часток фруктової пасти за розмірами

На підставі результатів проведених досліджень запропоновано способи виробництва напівфабрикатів високого ступеня готовності: фруктових паст з застосуванням ДПС, цукатів з дикорослих плодів, паст з прямих овочів і зелені.

Способи виробництва фруктових паст „Світанок, „Веселка” і „Бадьорість” відрізняються від традиційних яблучних складом сировини, особливістю попередньої обробки і використанням для концентрування пюре РПА. Основними особливостями виробництва цукатів з дикорослих плодів є заміна операції бланшування на витримання плодів у пряному маринаді, що готується на основі екстракту ароматичних трав, а також їх вакуумне уварення в цукровому сиропі з регулюванням залишкового тиску в апараті. Спосіб виробництва паст з прямих овочів і зелені відрізняється спільною обробкою коренеплодів, стебел і зелені, основними

операціями якого є підпресування подрібнених коренеплодів і стебел у 3 % розчині NaCl і лимонної кислоти й наступна їх обробка в НВЧ-полі.

Оцінку якості готових виробів було проведено за структурно-механічними, мікробіологічними, фізико-хімічними і органолептичними показниками. Аналіз результатів фізико-хімічних показників фруктових паст з застосуванням ДПС свідчать про суттєве їх збагачення у порівнянні з яблучною пастою (контроль) в середньому: аскорбінової кислоти в 5,2 рази, пектинових речовин на 22 %, органічних кислот в 2,1 рази, фенольних сполук – антоціанів в 3,6 рази, катехинів в 1,9 разів. Нові пасти на відміну від яблучної містять каротиноїди від 0,12 до 1,2 мг/100 г. Структурно-механічні показники розроблених паст мають більш високі значення ніж контрольна, що свідчить про зміцнення консистенції і позитивно впливають на технологічні можливості продукту. За рахунок зниження температури і тривалості обробки пюре в РПА значно зменшились втрати БАР і це дозволило отримати пасти високої якості зі сприятливими органолептичними показниками. Аналіз хімічного складу цукатів з диких яблук і груш свідчить, що розроблені вироби містять значну кількість БАР, яка перевищує аналогічні показники у цукатів з культурних яблук і груш в середньому: аскорбінової кислоти – в 1,73 рази; пектинових речовин – в 1,35 рази; фенольних сполук – в 1,4 рази і мають більш привабливі органолептичні показники. Під час оцінки показників якості пасти з прямих овочів і зелені відмічено, що паста є цінним джерелом аскорбінової кислоти,  $\beta$ -каротину, клітковини і мінеральних речовин. Використання нетрадиційної овочевої сировини (стеблів) і не тривале теплове оброблення в НВЧ-полі дозволило підвищити харчову цінність пасти і зменшити втрати сировини. Усі розроблені продукти відповідають умовам санітарної безпеки.

**У шостому розділі** “Розробка прогресивного обладнання для виробництва харчових продуктів з нетрадиційної плодоовочевої сировини” наведено технологічні вимоги і завдання на проектування конструкцій обладнання для попередньої і основної теплової обробки ДПС, їх будову і принцип дії. Обладнання призначено для експлуатації на консервних підприємствах малої потужності, що займаються переробкою плодоовочевої сировини.

Пристрій УПТОДС-150 (рис. 15) призначено для попередньої теплової обробки дикорослої сировини і відрізняється від традиційних наявністю змінних укладок, що обертаються зі швидкістю  $10 \text{ хв}^{-1}$  в об’ємі теплової камери, яка обігривається парою. Для бланшування плодів водою або парою і витримуванні у розчині або пряному маринаді, екстрагування ароматичних трав призначено сітчастий укладник, а для підсушування плодів – тарільчастий. Привод для обертання укладника змонтовано на консолі опори, що встановлено на возику. За відповідності основних показників технічної характеристики УПТОДС-150 традиційним апаратам для попередньої теплової обробки сировини за невеликою продуктивності лінії до 150 кг/год, загальна тривалість обробки сировини скорочується в середньому на 14...21,8 %, спрощуються вантажно-розвантажні операції, зменшуються втрати маси на 5 %.

Роторний плівковий апарат РПА-200-0,82 (рис. 16) призначено для концентрування фруктових пюре з використанням ДПС до вмісту СР 28...32 %. З врахуванням теплофізичних властивостей продукту удосконалено конструкцію

а)

б)

в)

Рис. 15. Пристрій для попередньої теплової обробки дикорослої сировини УПТОДС-150: а- схема пристрою; б – сітчастий укладник; в- тарільчастий укладник; 1 – варильна судина; 2 – корпус; 3 – кожух; 4 – теплова ізоляція; 5 – оболонка парова; 6,7 – вентиля; 8 – барботер; 9 – кран; 10 – відбивальні ребра; 11 – змішувач; 12 – продувний кран оболонки; 13 – конденсатовідвідник; 14 – кришка; 15 – запобіжний клапан; 16- продувний кран; 17 – змінний укладник; 18 – привод для обертання укладника; 19 – опора; 20 – возик; 21 – підшипниковий вузол; 22 – стійки; 23 – кришка укладника; 24 – днище; 25 – ребра; 26 – ступиця; 27 – глухий отвір; 28 – сітка; 29 – рим-болти; 30 – тарілки; 31 – пробивні отвори

Рис. 16. Роторний плівковий апарат РПА-200-0,82: а - схема повздожного перетина; б – схема поперечного перетина; в – зовнішній вигляд лопаті; 1 – корпус РПА; 2 – вал ротора; 3 – опорні диски; 4 – шарнірна лопать; 5 – патрубок вводу вихідного продукту; 6 – розподільний диск; 7 – сепаратор; 8, 9 – підшипникові вузли; 10 – патрубок для відводу теплоносія; 11 – гріюча оболонка; 12 - ніхромова спіраль; 13 – керамічна решітка; 14 – камера розвантаження; 15 – патрубок відводу пари

плівкоутворюючого елемента і схему обігріву робочої камери. Як плівкоутворюючий елемент використовується шарнірна зрізуюча рамка, що забезпечує більш розвинуте поле швидкостей обтікання продуктом лопаті і підвищує тепловіддачу. Враховуючи, що під час концентрування консистенція продукту змінюється по висоті робочої камери, застосовуються шарнірні рамки з різними кутами зрізуючої крайки у ярусах, при цьому лопаті з меншим кутом призначено для плівкоутворення більш концентрованого продукту з підвищеною в'язкістю. Продуктивність апарата по кінцевому продукту 100 кг/год, висота робочої камери РПА складає 0,82 м, внутрішній діаметр камери 0,2 м; потужність електронагрівачів 11,7 кВт. Час перебування об'єму продукту в РПА займає декілька десятків секунд. Апарат має невеликі габаритні розміри і відповідає умовам роботи малих переробних підприємств по переробці дикорослої плодово-ягідної сировини.

Розроблено технологічну схему лінії для виробництва фруктових паст з застосуванням ДПС продуктивністю 100 кг/год. В лінії підбрано обладнання малої продуктивності, в тому числі пристрій УПТОДС-150 і апарат РПА-200-0,82.

**У сьомому розділі** “Соціально-економічна ефективність і впровадження науково-технічних розробок у виробництво” доведено розрахунком економічної ефективності на прикладі виробництва фруктових паст з застосуванням ДПС, що собівартість продукції виробленої на експериментальній лінії з застосуванням розробленого обладнання в порівнянні з традиційною для виробництва яблучної пасти за рахунок зниження енергетичних, капітальних та експлуатаційних витрат зменшилась на 12 %, термін окупності складає 1,3 роки. Економічний ефект складає 158,7 тис. грн. (в цінах на 01.04.05).

Здійснено заходи з упровадження науково-технічних розробок у виробництво шляхом розробки нормативної документації на виробництво цукатів з дикорослих плодів і паст “Веселка”, “Світанок” і “Бадьорість” та проектної документації на обладнання, апробації їх на науково-практичних конференціях, дегустаційній нараді та виставках-ярмарках, виробничих підприємствах.

## ВИСНОВКИ

1. Аналітичним оглядом літературних джерел встановлено, що розширення асортименту консервованої продукції з рослинної сировини можливо за рахунок використання нетрадиційної дикорослої плодово-ягідної і пряноовочевої сировини. Існуючі способи переробки плодовоовочевої сировини не враховують деяких характерних рис дикорослої плодово-ягідної і пряноовочевої (специфічного присмаку, щільної шкірочки, твердої волокнистої структури тощо), а обладнання для їхньої реалізації відрізняється високою продуктивністю, не розрахованої на порівняно невеликі обсяги переробки НПОС, значними енерго- і металовитратами, великою тривалістю теплової обробки. Вирішити цю проблему можливо шляхом комплексного підходу до регулювання дифузійних процесів попередньої обробки нетрадиційної плодовоовочевої сировини, інтесифікації тепломасоперенесення під час концентрування пастоподібних продуктів з НПОС при використанні плівкового плинку вязкої рідини в полі дії відцентрових сил, регулювання парціального тиску пари під час уварювання плодів в цукровому сиропі при виробництві цукатів, що

приводить до скорочення тривалості теплової обробки, збереження БАР у продукті і зменшення втрат сировини.

2. Запропоновано нові схеми дифузійних процесів попередньої обробки НПОС і на основі єдиного теоретичного підходу – рішення крайової задачі самодифузії води з розчиненими в ній речовинами в товщу продукту, отримана формула, що дозволяє оцінювати тривалість дифузійних процесів у залежності від температури ведення процесу і середнього розміру продукту: для витримування плодів у розчині кухонної солі і лимонної кислоти при температурі 20...25°C тривалість процесу складає 1800...2400 с, витримування плодів у пряному маринаді при температурі 70...75°C – 600...900 с, підпресовування суміші прямих овочів у розчині кухонної солі і лимонної кислоти при 20...25°C – 200...280 с.

3. Розроблено фізико-математичну модель гідродинамічних процесів в РПА під час концентрування фруктових пюре в якій для розрахунку профілю швидкостей плинину продукту з використанням шарнірних зрізуючих рамок вирішена двомірна крайова задача. Доведено, що кут скошу зрізуючої крайки шарнірної лопаті впливає на відносну швидкість течії продукту і при його величині, який дорівнює 6° досягається її максимальне значення. Отримано фізико-математичну модель тепломасообмінних процесів концентрування фруктових пюре в РПА, що враховує гідродинаміку плинину продукту по спіралі, це дає можливість розрахувати коефіцієнти тепломасовіддачі по товщині плівки продукту, а також розподіл температури і концентрації вологи по висоті апарата. Одержані рівняння для розрахунку основних конструктивних розмірів апарата в залежності від його продуктивності.

4. Отримано модель процесу уварювання дикорослих плодів у цукровому сиропі для готування цукатів, що дозволяє визначити тривалість процесу дифузії цукрового сиропу в плоди. Ефективність уварювання дикорослих плодів у цукровому сиропі досягається регулюванням парціального тиску пари у вакуум-випарному апараті для періодів варення (72 кПа) і охолодження (30...40 кПа). Використання такого режиму уварювання дозволяє зберегти гарний зовнішній вигляд плодів і скоротити тривалість уварювання.

5. Обрана реологічна модель, що описує деформаційне поведіння пастоподібних напівфабрикатів з нетрадиційної плодоовочевої сировини, що має пружні, еластичні і в'язкі властивості, які характерні для незруйнованої структури цих продуктів. Рішення рівняння обраної реологічної моделі отримані для двох варіантів деформування: по швидкості зміни деформації і по швидкості зміни напруження. Отримано розрахункові реологічні залежності, що дозволяють визначити конструктивні й енергетичні характеристики відповідного технологічного обладнання завдяки урахуванню їх реологічних властивостей.

6. Експериментально вивчені закономірності концентрування фруктових пюре в РПА в залежності від особливостей гідродинамічного плинину продукту і теплообміну. Встановлено, що використання шарнірної зрізуючої рамки приводить до зниження потужності на обертання ротора в залежності від витрати продукту в середньому на 24 % в порівнянні зі звичайною шарнірною лопатю, раціональне значення кута крайки зрізуючої рамки складає 6°, а коефіцієнт тепловіддачі при цьому збільшується на 19 %. У результаті аналізу експериментальних даних по дослідженню теплообміну отримано критеріальне рівняння для розрахунку



коефіцієнта тепловіддачі від робочої поверхні РПА до продукту, що враховує вплив гравітаційного стікання плівки, її руху при обертанні лопаті ротора, перемішуючої дії пухирців пари, конструктивних параметрів лопатей ротора на гідродинаміку плину. Встановлено область ефективного використання РПА для випаровування фруктових пюре, що знаходиться в межах поверхневого навантаження  $0,044 \dots 0,122 \text{ кг}/(\text{м}^2\text{с})$ .

7. Дослідженням структурно-механічних властивостей фруктових пюре встановлено, що додавання ДПС збільшує граничну напругу зсуву і ефективну в'язкість продукту. Отримано рівняння для визначення ефективної в'язкості фруктових пюре в залежності від швидкості зсуву і температури. Дисперсний аналіз пасти після обробки в РПА показав, що під впливом дії лопатей ротору продукт додатково подрібнюється і кількість частинок з діаметром  $1,1 \cdot 10^{-5} \text{ м}$  у максимумі розподілу складає 38 %.

8. Вивчено закономірності тепло- і масопереносу при виробництві цукатів з дикорослих плодів та експериментально доведена можливість заміни бланшування плодів у воді при температурі  $90^\circ\text{C}$  витримуванням їх у пряному маринаді при  $75^\circ\text{C}$  на попередньому етапі обробки сировини. Встановлено раціональний режим уварювання цукатів у цукровому сиропі до досягнення концентрації сухих речовин у плодах 70% чотирма циклами варення по 13 хв з інтервалами охолодження по 10 хв між циклами. Відзначено, що завдяки раціональним режимам підготовчих операцій із сировиною і регулювання тиску середовища в процесі варення, тривалість уварювання плодів у цукровому сиропі скорочується на 15...20%.

Експериментально вивчений процес виробництва пасти з прямих овочів і зелені, яким передбачається на попередній стадії процесу підпресовування суміші здрібнених овочів, і на основній – теплової обробка овочевої суміші у НВЧ- полі. Визначено, що на попередній стадії обробки вирішальне значення на тривалість підпресовування робить величина періоду релаксації напруження в шарі овочів і з урахуванням наступної НВЧ-обробки овочів загальна тривалість процесу складає 770...800 с.

9. Розроблено способи виробництва напівфабрикатів високого ступеня готовності з НПОС. Спосіб виробництва фруктових паст відрізняється підбором компонентів напівфабрикатів з урахуванням їх реологічних властивостей і використанням для концентрування пюре РПА; основними особливостями виробництва цукатів з дикорослих плодів є заміна операції бланшування витримуванням плодів у пряному маринаді, приготовленому на основі екстракту з ароматичних трав, і їхнє вакуумне уварювання в цукровому сиропі з регулювання залишкового тиску у вакуум-випарному апараті. Спосіб виробництва пастоподібного напівфабрикату з прямих овочів і зелені відрізняється спільною обробкою коренеплодів, стебел і зелених листів, основними операціями якого є підпресовування здрібнених коренеплодів і стебел у 3% розчині NaCl і лимонної кислоти і наступна їхня обробка у НВЧ-полі. Відзначено відповідність отриманих напівфабрикатів вимогам санітарної безпеки, поліпшення органолептичних показників у порівнянні з традиційними виробами з відповідної сировини і зменшення втрат БАР при їхньому виробництві.

10. Розроблено конструкції високоефективного обладнання нового типу, призначеного для реалізації попередньої й основної стадій теплової обробки ДПС,

представлено їхні проектні розрахунки і програмне забезпечення. З використанням дослідно-промислових зразків, виготовлених підприємствами машинобудівної галузі, визначено технологічні показники теплової обробки рослинної сировини, результати яких свідчать про істотне зниження тривалості процесу і зменшення втрат маси (у порівнянні з традиційним обладнанням). Для виробництва фруктових паст розроблена технологічна лінія продуктивністю 100 кг/год, що може встановлюватися в консервних цехах невеликої потужності.

11. Розрахунком економічної ефективності промислового виробництва фруктових паст із використанням ДПС доведено, що собівартість продукції виробленої на експериментальній лінії із застосуванням розробленого обладнання в порівнянні з традиційною для виробництва яблучної пасти за рахунок зниження енергетичних, капітальних та експлуатаційних витрат зменшилась на 12 %, термін окупності складає 1,3 роки. Економічний ефект складає 158,7 тис. грн. (в цінах на 01.04.05).

Здійснено заходи щодо впровадження науково-технічних розробок у виробництво шляхом розробки нормативно-технічної документації на нові харчові напівфабрикати - пасти і цукати, приготовлені на основі НПОС, проектної документації на розроблене обладнання. Апробація їх проведена на науково-практичних конференціях, промислових підприємствах, дегустаційних нарадах і виставках-ярмарках.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Киптелая Л.В., Беляев М.И., Ефремов Ю.И. Полуфабрикат „Белый корень” // Общественное питание. – 1987. - №10. - С. 19.
2. Киптелая Л.В., Ефремов Ю.И. Полуфабрикаты высокой степени готовности из пряных овощей и зелени // Индустриальные методы производства кулинарной продукции на крупных промышленных предприятиях: Сб. научн. тр. –Харьков: ХИОП, 1987. - С. 169-172.
3. Беляев М.И., Киптелая Л.В., Афукова Н.А. Разработка способа приготовления отделочных полуфабрикатов для кондитерских изделий из диких яблок и груш // Прогрессивные технологии и формирование рыночных отношений в общественном питании: Сб. научн. тр. - Харьков: ХИОП, 1992. - С. 4-6.
4. Киптелая Л.В., Ефремов Ю.И., Афукова Н.А. Способ производства пасты из калины и сливы // Проблемы общественного питания на пути к рынку: Сб. научн. тр.- Харьков: ХИОП, 1993. - С. 39-40.
5. Киптелая Л.В., Ефремов Ю.И., Афукова Н.А. Разработка режимов экстракции при производстве цукатов из диких яблок и груш // Проблемы общественного питания на пути к рынку: Сб. научн. тр. - Харьков: ХИОП, 1993. - С. 123-126.
6. Киптелая Л.В., Ефремов Ю.И., Афукова Н.А. Пасты из дикорастущих плодов и ягод // Питание и общество. – 1994. - № 8. - С. 24.
7. Киптелая Л.В., Афукова Н.А. Цукаты из диких яблок и груш // Питание и общество. - 1995. - №10. - С. 19.

8. Киптелая Л.В., Афукова Н.А. Структурно-механические свойства паст из терна и яблок // Новые технологии пищевых производств и актуальные проблемы развития торговли и общественного питания: Сб. научн. тр. -Харьков: ХГАТОП, 1995. - С. 27-30.

9. Киптелая Л.В., Пахомов П.Л. Ефремов Ю.И. Афукова Н.А. Процессы диффузии при варке диких яблок в сахарном сиропе // Новые технологии пищевых производств и актуальные проблемы развития торговли и общественного питания: Сб. научн. тр. – Харьков: ХГАТОП, 1995. – С. 90-93.

10. Киптелая Л.В., Афукова Н.А. Аппаратурное оформление процессов вспомогательной тепловой обработки дикорастущего сырья // Актуальні науково-методичні проблеми в підготовці спеціалістів вищої кваліфікації для торгівлі і харчування: Зб. наук. пр. – Харків: ХДАТОХ, 1997. – С. 177-180.

11. Киптелая Л.В., Афукова Н.А. Линия для производства цукатов и паст // Прогресивні ресурсозберігаючі технології та їх економічне обґрунтування у підприємствах харчування. Економічні проблеми торгівлі: Зб. наук. пр. – Харків: ХДАТОХ, 1998. – С. 56-59.

12. Киптелая Л.В., Афукова Н.А. Изучение процесса предварительной тепловой обработки диких яблок и груш // Прогресивні ресурсозберігаючі технології та їх економічне обґрунтування у підприємствах харчування. Економічні проблеми торгівлі: Зб. наук. пр. – Харків: ХДАТОХ, 1998. - С. 81-82.

13. Черевко А.И., Киптелая Л.В., Загуменная О.В. Создание витаминных полуфабрикатов на основе дикорастущего сырья // Прогресивні ресурсозберігаючі технології та їх економічне обґрунтування у підприємствах харчування. Економічні проблеми торгівлі: Зб. наук. пр. – Харків: ХДАТОХ, 1998. – С. 228-230.

14. Киптелая Л.В. Афукова Н.А. Загуменная О.В. Новый витаминный продукт // Питание и общество. - 1998. - №7. - С.26-27.

15. Киптелая Л.В. Пленочный испаритель для производства паст из дикорастущего пищевого сырья // Нові технології та удосконалення процесів харчових виробництв: Зб. наук. пр.– Харків: ХДАТОХ, 1999. – С.198-200.

16. Киптелая Л.В., Афукова Н.А., Загуменная О.В. Технология пастообразного полуфабриката плодово-ягодного сырья и его использование в производстве кулинарных изделий // Прогресивні технології та удосконалення процесів харчових виробництв: Зб. наук. пр. - Ч.1. – Харків: ХДАТОХ, 2000. - С.70-73.

17. Киптелая Л.В. Использование бесконтактного метода определения толщины жидкостной пленки при исследовании гидродинамики в тонкопленочных аппаратах // Прогресивні технології та удосконалення процесів харчових виробництв: Зб. наук. пр. - Ч.2. – Харків: ХДАТОХ, 2000. – С. 23-27.

18. Киптелая Л.В. Афукова Н.О. Цукати та пасти з дикорослої сировини // Вісник ДонДУЕТ. Технічні науки, 2000. - № 6. - С. 141-145.

19. Киптелая Л.В., Афукова А.Н., Загуменная О.В. Паста из дикорастущих плодов и ягод // Питание и общество. - №8. - 2000.- С.23.

20. Киптелая Л.В., Загорулько А.Е. Анализ процесса концентрирования плодово-ягодного пюре в роторном тонкопленочном аппарате // Прогресивні технології та удосконалення процесів харчових виробництв: Зб. наук. пр. – Харків: ХДАТОХ, 2000. - Ч. 2. – С. 12-16.

21. Киптелая Л.В. Особенности тепловой обработки плодово-ягодного пюре у роторному плівковому апараті // Вісник ДонДУЕТ. Технічні науки. - 2001. - № 9. – С. 164-171.
22. Киптелая Л.В. Модель процесса выпаривания в роторном пленочном аппарате // Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних та харчових виробництв: Зб. наук. пр. – Харків: ХДУСГ, 2001. - № 5. – С. 203-211.
23. Киптелая Л.В. Афукова Н.А. Обоснование механизма удаления загрязняющих веществ с дикорастущего сырья // Прогресивні ресурсозберігаючі технології та їх економічне обґрунтування у підприємствах харчування. Економічні проблеми торгівлі: Зб. наук. пр. – Харків: ХДАТОХ, 2001. - Ч. 1. – С. 56-59.
24. Киптелая Л.В., Загорулько А.Е. Исследование реологических характеристик пастоподібних полуфабрикатов из дикорастущего плодово-ягодного сырья // Прогресивні ресурсозберігаючі технології та їх економічне обґрунтування у підприємствах харчування. Економічні проблеми торгівлі: Зб. наук. пр. – Харків: ХДАТОХ, 2001. - Ч. 1. – С. 31-36.
25. Кіптела Л.В. Математична модель випарювання у роторному плівковому апараті // Науковий вісник ПУСКУ. – 2001. - Вип. 1. - № 3. – С. 45-48.
26. Кіптела Л. В., Загорулько О. Є. Ресурсозберігаючі технології при виробництві фруктових паст у тонкоплівкових роторних апаратах // Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України: Зб. наук. пр. – Харків: ХДУСГ, 2001. - № 6. – С. 451-455.
27. Кіптела Л.В. Особенности тепловой обработки пряных овощей // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства “Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв”. – Харків: ХДТУСГ, 2002. – Вип. № 9. - С.295-301.
28. Кіптела Л.В. Первинна тепла обробка диких яблук і груш під час приготування цукатів // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства ”Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. – Харків: ХДТУСГ, 2002. – Вип. № 10. – С.288-292.
29. Киптелая Л.В. Синекон М.С. Расчет профиля скоростей движения продукта при уваривании в роторном пленочном аппарате // Прогресивні ресурсозберігаючі технології та їх економічне обґрунтування підприємствах харчування. Економічні проблеми торгівлі: Зб. наук. пр. – Харків: ХДУХТ, 2002. – Ч. 1. - С. 430-434.
30. Кіптела Л.В., Загорулько О.Є. Удосконалення конструкції роторного плівкового апарата // Вестник науки и техники. – 2002. - №6. – С. 27-31.
31. Кіптела Л.В., Загорулько О.Є. Вибір раціональних параметрів концентрування пюре із дикорослої сировини // Обладнання та технології харчових виробництв: Зб. наук. пр. – Донецьк: ДонДУЕТ, 2002. - №. 7. – С. 121-125.
32. Кіптела Л.В., Загорулько О.Є. Плівкоутворюючий елемент для концентрування фруктових пюре у роторному плівковому апараті // Вісник Національного технічного університету “ХПІ”: Зб. наук. пр. - Харків: НТУ “ХПІ”, 2002. - № 17. – С.118-121.

33. Черевко О.І., Кіптєла Л.В., Загорулько О.Є. Фруктові пасти з використанням дикорослої сировини // Харчова та переробна промисловість. – 2002. - №3. – С. 18-19.

34. Кіптєла Л.В., Загорулько О.Є. Вплив гідродинаміки на ефективність теплообміну в роторному плівковому апараті // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. – Харків : ХДТУСГ, 2002. - Вип. 10. – С. 350-352.

35. Кіптєла Л.В., Загорулько О.Є. Гідродинаміка плину фруктових пюре у тонкоплівкових роторних апаратах // Прогресивні ресурсозберігаючі технології та їх економічне обґрунтування у підприємствах харчування. Економічні проблеми торгівлі: Зб. наук. пр. – Харків: ХДУХТ, 2002. – Ч. 1 – С. 242-248.

36. Кіптєла Л.В. Обґрунтування реологічної моделі харчових пастоподібних напівфабрикатів із дикорослої сировини // Харчова промисловість. – 2003. - № 2. – С. 89-91.

37. Кіптєла Л.В., Сінєкоп М.С. Гідродинаміка роторних плівкових апаратів з шарнірними зрізуючими рамками // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства “Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв”. – Харків: ХДТУСГ, 2003. – Вип. 16. – С. 66-72.

38. Кіптєла Л.В. Практичне використання реологічної моделі деформування паст з дикоплодної сировини // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства “Проблеми енергозабезпечення в АПК України”. – Харків: ХДТУСГ, 2003. –Вип. 19. – Т.ІІ. – С. 14-18.

39. Кіптєла Л.В. Розрахунок коефіцієнтів тепломасообміну під час концентрування фруктових пюре у роторному плівковому апараті // Прогресивні ресурсозберігаючі технології та їх економічне обґрунтування у підприємствах харчування. Економічні проблеми торгівлі: Зб. наук. пр. –Харків: ХДУХТ, 2003. - Ч.1. – С. 250-256.

40. Кіптєла Л.В. Визначення коефіцієнта тепловіддачі під час концентрування фруктових пюре в роторних плівкових апаратів // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2004. - № 2. – С. 24-27.

41. Черевко О.І., Кіптєла Л.В., Загорулько О.Є. Теоретичні передумови інтенсифікації процесу концентрування фруктових паст у роторному плівковому апараті // Прогресивні ресурсозберігаючі технології та їх економічне обґрунтування у підприємствах харчування. Економічні проблеми торгівлі: Зб. наук. пр. – Харків: ХДУХТ, 2004. – Ч. 1. – С. 207-212.

42. А.С. №1364275 СССР. МКИ А 23L1/221. Способ приготовления консервированного полуфабриката из сырья, содержащего свежую зелень пряных овощей / М.И.Беляев, Л.В.Киптєлая, Ю.И.Єфремов (СССР). – № 4011760; Заявл. 22.01.86; Опубл. 07.01.88, Бюл. №1.

43. Патент № 1777556 СССР, МКИ А23L1/06, А23G3/00. Способ приготовления отделочных полуфабрикатов для кондитерских изделий из плодов / М.И.Беляев, Л.В.Киптєлая, Н.А.Афукова (СССР). – № 4927215; Заявл. 10.04.91; Опубл. 23.11.92, Бюл. №43.

44. Патент N 2039462 РФ, МКИ А 23L1/06. Способ приготовления фруктового фарша / Л.В.Киптелая, Ю.И.Ефремов, Н.А.Афукова (РФ). - № 5025123; Заявл. 31.01.92; Оpubл. 20. 07. 95, Бюл. №20.

45. Деклараци́нный патент 34072 А Україна МКВ, А 23 L 1/06. Спосіб виробництва фруктової пасти / О.І.Черевко, Л.В.Кіптела, Н.О.Афукова, О.В.Загуменна (Україна). - № 99052941; Заявл. 27.05.99; Оpubл. 15.02.01, Бюл. № 1.

46. Деклараци́нный патент 38061 А Україна, МКВ А 23 L 1/06. Спосіб виробництва пасти з дикоплодної сировини / О.І.Черевко, Л.В.Кіптела, Н.О.Афукова, О.В.Загуменна (Україна). - № 2000052941; Заявл. 23.05.2000; Оpubл. 15.05.01, Бюл. № 4.

47. Деклараци́нный патент 53975 Україна, МКВ А 23N 12/04. Пристрій для попередньої теплової обробки дикорослої сировини / О.І.Черевко, Л.В.Кіптела, Н.О.Афукова. (Україна). - №20020429262, Заявл. 11.04.02; Оpubл. 17.02.03. Бюл. 3

48. Деклараци́нный патент № 45609 А Україна, МКВ А 23 L 1/06. Тонкоплівковий роторний апарат / О.І. Черевко, Л.В.Кіптела, О.Є.Загорулько (Україна). - № 2001042601; Заявл 18.04.2002; Оpubл. 15.04.2002, Бюл. № 4. – 8 с.

49. Деклараци́нный патент № 49359 А Україна, МКВ А 23 L 1/06. Композиція рецептурних компонентів при виробництві пасти з дикоплодної сировини / О.І.Черевко, Л.В.Кіптела, О.Є.Загорулько (Україна). - № 2001117876; Заявл. 19.11.2001; Оpubл. 16.09.2002, Бюл. № 9. – 6 с.

50. Деклараци́нный патент № 50169 А Україна, МКВ В 01 D 1/22. Тонкоплівковий роторний випарник / О.І.Черевко, Л.В.Кіптела, О.Є.Загорулько (Україна). - № 2001117520; Заявл. 05.11.2001; Оpubл. 15.10.2002, Бюл. № 10. – 6с.

51. Киптелая Л.В., Ефремов Ю.И., Афукова Н.А. Реологические характеристики фруктовых паст // Тезисы докл. междунар. конф. “Перспективы развития массового питания и торговли в условиях перехода к рыночной экономике”. – Харьков: ХИОП. - 1994.- С.244-245.

52. Киптелая Л.В., Афукова Н.А., Савгира Ю.А. Исследование содержания полифенолов в цукатах из диких яблок // Тезисы докл. междунар. конф. “Перспективы развития массового питания и торговли в условиях перехода к рыночной экономике”. – Харьков: ХИОП. - 1994. - С.8-9.

53. Киптелая Л.В., Афукова Н.А. Исследование Р-активных веществ в пастах из дикорастущего сырья // Тези доп. міжнар. наук. – практ. конф. “Розвиток масового харчування, готельного господарства і туризму в умовах ринкових відносин”. - К.: КДТЕУ. - 1994. - С. 52-53.

54. Киптелая Л.В., Афукова Н.А. Исследование динамики массопереноса при варке диких яблок и груш в сахарном сиропе // Тези доп. 9 Міжнар. конф. „Удосконалення процесів та апаратів хімічних, харчових та нафтохімічних виробництв”. – Одеса: ОДАХТ. – 1996. – С. 86.

55. Черевко А.И., Киптелая Л.В., Афукова Н.А., Середя Н.В. Аппарат многофункционального назначения для тепловой обработки растительного сырья // Тезисы докл. междунар. науч. техн. конф. “Современные проблемы машиностроения и технический прогресс”. - Донецк: ДонГТУ. - 1996. - С. 252.

56. Киптелая Л.В., Ефремов Ю.И., Афукова Н.А. Исследование реологических показателей пасты из калины и сливы // Тезисы докл. междунар. науч.-техн. конф.

“Холод и пищевые производства”. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургская государственная академия холода и пищевых технологий. - 1996. - С. 151.

57. Киптелая Л.В., Афукова Н.А., Середа Н.В. Аппарат для предварительной тепловой обработки дикорастущего сырья // Тезисы докл. междунар. науч.-техн. конф. “Холод и пищевые производства”. - Санкт-Петербург: Санкт-Петербургская государственная академия холода и пищевых технологий. - 1996. – С. 196-197.

58. Кіптела Л.В., Афукова Н.О. Використання дикорослої сировини для виробництва продуктів профілактичного і дієтичного харчування // Тези доп. Всеукр. наук.- прак. конф. “Екологія і економіка”. - Львів: ЛКА. - 1997. – С. 115.

59. Кіптела Л.В., Афукова Н.О. Структурно-механічні властивості паст з використанням обліпихи // Тези доп. наук. – практ. конф. “Стан і проблеми розвитку торгівлі і харчування в Україні”.-Харків: ХДАТОХ. - 1997. – С. 92.

60. Киптелая Л.В., Афукова Н.А. Рациональные режимы вспомогательной обработки диких плодов при производстве цукатов // Материалы міжнар. наук.-практ. конф. „Проблеми якості у громадському харчуванні, готельному господарстві і туризмі”.- Київ: КДТЕУ. - 1998. – С. 98-99.

61. Киптелая Л.В., Афукова Н.О. Новые продукты из дикорастущего сырья // Тезисы докл. 2-й междунар. науч.-практ. конф. “Продовольственный рынок и проблемы здорового питания”. - Орел: ОГТУ. - 1999.-С.113.

62. Кіптела Л.В., Загорулько О.Є. Рациональні параметри фруктових пюре для ефективного концентрування в роторних плівкових апаратах // Праці 67-ї наук. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених. - К. : УДУХТ. - 2001. - С.147.

63. Кіптела Л.В., Афукова Н. О. Універсальний апарат для теплової обробки рослинної сировини // Тези доп. міжнар. наук.-техн. конф. “Актуальні проблеми харчування: технологія та обладнання, організація та економіка”. – Донецьк: ДонДУЕТ. – 2001. – С. 87-88.

64. Киптелая Л.В. Концентрирование пастообразных полуфабрикатов из дикорастущего сырья в пленочных испарителях // Труды междунар. науч. техн. конф. “Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке”. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургская государственная академия холода и пищевых технологий. – 2001. – С. 175.

65. Кіптела Л.В., Загорулько О.Є. Розробка процесу виробництва фруктових паст // Труды междунар. науч.- практ. конф. “Научные и практические аспекты переработки мяса и мясопродуктов”. – Харьков: ХГАТОП. – 2001. – С. 139-141.

66. Кіптела Л.В. Вибір реологічної моделі харчових пастоподібних напівфабрикатів // Труды междунар. науч.-практ. конф. “Научные и практические аспекты переработки мяса и мясопродуктов”. – Харьков: ХГАТОП. – 2001. – С. 137-139.

67. Кіптела Л.В., Загорулько О.Є. Удосконалення схеми обігріву роторного плівкового апарату // Стратегічні напрямки розвитку підприємств харчових виробництв і торгівлі: Тези доп. міжнар. наук.-метод. конф., присв. 35-річчю академії. – Харків: ХДАТОХ. -2002. – С. 150- 152.

68. Кіптела Л.В. Аналіз реологічної моделі фруктових паст з дикоплодної сировини // Тези доп. міжнар. наук.-практ. конф. “Управлінські та технологічні

аспекти розвитку підприємств харчування та торгівлі”. – Харків: ХДУХТ. - 2003. – С. 217- 220.

69. Кіптєла Л.В., Загорулько О.Є. Визначення розподілу температури у нагрівальному електричному блоці роторного плівкового апарата // Тези доп. міжнар. наук.-практ. конф. “Управлінські та технологічні аспекти розвитку підприємств харчування та торгівлі”. – Харків: ХДУХТ. - 2003. – С. 276-279.

70. Кіптєла Л.В., Загорулько О.Є. Інтенсифікація процесу випаровування пюре з дикоплодної сировини // Тези доп. міжнар. наук-техн. конф. “Актуальні проблеми харчування: технологія та обладнання, організація і економіка”. - Донецьк: ДонДУЕТ. - 2003. – С. 97.

71. Кіптєла Л.В. Зв'язок між реологічними властивостями, режимами обробки сировини і консистенцією фруктових паст // Тези доп. міжнар. наук.-метод. конф. “Стратегічні напрямки розвитку підприємств харчових виробництв і торгівлі”. – Харків. - 2002. – С. 142-143.

72. Черевко О.І., Кіптєла Л.В., Загорулько О.Є. Підвищення ефективності концентрування фруктових пюре у роторних плівкових апаратах // Матеріали міжвуз. наук. – практич. конф. “Проблеми техніки і технології харчових виробництв”. – Полтава: ПУСКУ. – 2004. – С. 63-65.

73. Черевко А.И., Киптєлая Л.В., Загорулько А.Е. Интенсификация тепловой обработки пастообразных продуктов из дикорастущего плодово-ягодного сырья // Тезиси докл. 5 междунар. науч.-техн. конф. “Техника и технология пищевых производств”. - Могилев. – Мн.: Изд.центр БГУ. - 2005. – С.206.

74. Черевко А.И., Киптєлая Л.В., Загорулько А.Е. Деформационные характеристики пастообразного полуфабриката из пряных овощей и зелени.// Праці наук.-метод. конф. “Людина та навколишнє середовище – проблеми безперервної екологічної освіти в вузах”. - Одеса-Ізмаїл: ОДАХТ. - 2005. - С.155-157.

## АНОТАЦІЯ

Кіптєла Л.В. Наукове обґрунтування процесів і обладнання виробництва харчових напівфабрикатів з нетрадиційної плодовоовочевої сировини. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.18.12 – процеси й обладнання харчових, мікробіологічних і фармацевтичних виробництв. – Харківський державний університет харчування та торгівлі Міністерства освіти і науки України, Харків, 2005.

Дисертацію присвячено розробці науково обґрунтованих процесів і обладнання для виробництва харчових напівфабрикатів з нетрадиційної плодовоовочевої сировини (НПОС). Запропоновано наукову концепцію щодо комплексного впливу гідродинаміки, теплопідводу, дифузії і реологічних властивостей продуктів на інтенсифікацію тепломасоперенесення. Розроблено фізико-математичні моделі гідродинамічних і тепломасообмінних процесів під час концентрування фруктових пюре з використанням дикорослої плодово-ягідної сировини в роторному плівковому апараті, і експериментально визначено вплив конструктивних параметрів плівкоутворюючих елементів ротора на інтенсивність випаровування вологи. Науково обґрунтовано і реалізовано напрям скорочення тривалості процесу дифузії



сиропу в плоди шляхом регулювання парціального тиску пари під час уварювання дикорослих плодів в цукровому сиропі. Одержано розрахункові реологічні залежності процесів деформування пастоподібних продуктів з НПОС.

Встановлено раціональні параметри досліджених процесів. Запропоновано прогресивні способи виробництва харчових напівфабрикатів з дикорослої плодово-ягідної та пряноовочевої сировини. Розроблено конструкції обладнання нового типу та визначено технологічні показники теплової обробки НПОС. Оцінено економічну ефективність науково-технічних розробок та здійснено заходи з упровадження їх у виробництво.

*Ключові слова:* концентрування, роторний плівковий апарат, реологія, пасти, дикоросла плодово-ягідна і пряноовочева сировина.

## АННОТАЦІЯ

Киптелая Л.В. Научное обоснование процессов и оборудования производства пищевых полуфабрикатов из нетрадиционного плодоовощного сырья.– Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.18.12 – процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических производств. – Харьковский государственный университет питания и торговли Министерства образования и науки Украины, Харьков, 2005.

Диссертация посвящена разработке научно обоснованных процессов и оборудования для производства пищевых полуфабрикатов из нетрадиционного плодоовощного сырья (НПОС). Предложена научная концепция о комплексном влиянии процессов гидродинамики течения вязкого продукта, теплоподвода, диффузии и реологии продуктов на интенсификацию тепломассопереноса при производстве фруктовых паст из НПОС, а также цукатов из дикорастущих плодов.

Предложены новые схемы диффузионных процессов предварительной обработки НПОС. На основе единого теоретического подхода – решения краевой задачи самодиффузии воды с растворенными в ней веществами в толщу продукта, получена формула, позволяющая оценивать продолжительность диффузионных процессов в зависимости от температуры ведения процесса и среднего размера продукта.

Разработана физико-математическая модель гидродинамических процессов при концентрировании фруктовых пюре с использованием дикорастущего плодово-ягодного сырья (ДПС) в роторном пленочном аппарате (РПА), позволяющая рассчитать профиль скоростей течения вязкого продукта с использованием шарнирных срезающих рамок и определить влияние угла скоса срезающей кромки лопасти на относительную скорость течения продукта и эффективность тепломассопереноса. Получена физико-математическая модель тепломассообменных процессов концентрирования фруктовых пюре в РПА, учитывающая гидродинамику течения продукта по спирали, что дает возможность определить коэффициенты тепломассоотдачи по толщине пленки продукта, а также распределение температуры и концентрации влаги по высоте аппарата. Получены уравнения, позволяющие для заданной производительности аппарата рассчитать его основные конструктивные размеры.

На основе разработанной модели процесса уваривания дикорастущих плодов в сахарном сиропе для приготовления цукатов получено уравнение для определения продолжительности процесса диффузии сиропа в плоды при регулировании парциального давления пара в вакуум-выпарном аппарате для периодов варки (72 кПа) и охлаждения (30...40 кПа). Использование такого режима уваривания позволяет сохранить хороший внешний вид плодов и сократить продолжительность уваривания.

Выбрана реологическая модель, описывающая деформационное поведение пастообразных полуфабрикатов из НПОС. Решение уравнения выбранной реологической модели получены для различных вариантов деформирования, что позволяет определить конструктивные и энергетические характеристики соответствующего технологического оборудования благодаря учету их реологических свойств.

Экспериментальными исследованиями закономерностей концентрирования фруктовых пюре в РПА в зависимости от особенностей гидродинамического течения продукта и теплообмена установлено, что использование шарнирной срезающей рамки приводит к увеличению коэффициента теплоотдачи на 19 %. Получено критериальное уравнение для расчета коэффициента теплоотдачи от рабочей поверхности РПА к вязкому пастообразному продукту. Установлена область эффективного использования РПА для выпаривания фруктовых пюре, которая находится в пределах поверхностной нагрузки 0,044...0,122 кг/(м<sup>2</sup>с).

Получено уравнение для определения эффективной вязкости фруктовых пюре с использованием ДПС в зависимости от скорости сдвига и температуры. Дисперсный анализ пасты после обработки в РПА показал, что под влиянием действия лопастей ротора продукт дополнительно измельчается и количество частиц в максимуме распределения, которое составляет 38 %, имеет диаметр  $1,1 \cdot 10^{-5}$  м.

Экспериментально доказана при производстве цукатов из дикорастущих плодов возможность замены бланширования плодов в воде при температуре 90°C выдерживанием их в пряном маринаде при 75°C на предварительном этапе обработки сырья. Установлен рациональный режим уваривания цукатов в сахарном сиропе до достижения концентрации сухих веществ в плодах 70% четырьмя циклами варки по 13 мин с интервалами охлаждения по 10 мин между циклами. Благодаря рациональным режимам подготовительных операций с сырьем и регулирования давления среды в процессе варки, продолжительность уваривания плодов в сахарном сиропе сокращается на 15...20%.

Экспериментально изучен процесс производства пастообразного полуфабриката из пряных овощей и зелени, которым предусматривается на предварительной стадии процесса подпрессовывание смеси измельченных овощей, и на основной – тепловая обработка овощной смеси в СВЧ- поле. Определено, что на предварительной стадии обработки решающее значение на продолжительность подпрессовывания оказывает величина периода релаксации напряжения в слое овощей и с учетом последующей СВЧ-обработки овощей общая продолжительность процесса составляет 770...800 с.

Разработаны прогрессивные способы производства полуфабрикатов высокой степени готовности из НПОС и конструкции высокоэффективного оборудования

нового типа, предназначенного для реализации предварительной и основной стадий тепловой обработки ДПС, представлены их проектные расчеты и программное обеспечение. С его использованием определены технологические показатели тепловой обработки растительного сырья свидетельствующие о снижении продолжительности процесса и уменьшении потерь массы (по сравнению с традиционным оборудованием). Для производства фруктовых паст разработана технологическая линия производительностью 100 кг/ч, которая может устанавливаться в консервных цехах небольшой мощности.

Расчетом экономической эффективности промышленного производства фруктовых паст с использованием ДПС доказано, что себестоимость продукции, выпущенной на экспериментальной линии с использованием разработанных аппаратов по сравнению с традиционной за счет снижения энергетических, капитальных и эксплуатационных расходов снизилась на 12%. Экономический эффект составляет 158,7 тыс.грн, срок окупаемости линии - 1,3 года.

Результаты исследования внедрены на предприятиях пищевой промышленности.

*Ключевые слова:* концентрирование, роторный пленочный аппарат, реология, пасты, дикорастущее плодово-ягодное и пряноовощное сырье.

## ANNOTATION

Kiptela L.V. Scientific substantiation of processes and equipment for the production of semi-finished foodstuff from non-traditional raw fruit and vegetables. – Manuscript.

Dissertation for competition of Doctor of technical sciences degree by speciality 05.18.12. – Processes and Equipment of Food, Microbiological and Pharmaceutical Industries. – Kharkiv State University of Food Technology and Trade of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2005.

The dissertation is devoted to the development of scientifically substantiated processes and equipment for the production of semi-finished foodstuff from non-traditional raw fruit and vegetables (NRFV). Scientific concept concerning complex influence of hydrodynamics, heat bend, diffusion and rheology of foodstuff on the intensification of heat mass transference is suggested. Physical and mathematical models of hydrodynamic and heat mass transferring processes during fruit puree concentrating in a rotor film kettle are worked out. Influence of constructive parameters of rotor's film-forming elements on the intensity of moisture evaporation is experimentally determined. The method of reducing duration of the syrup diffusion process into fruit through partial pressure regulation of steam during the cook down of wild growing fruit in sugar syrup is scientifically substantiated and realized. Recounting rheologic dependencies of the processes of paste-like deformation from NRFV are defined.

Rational parameters of the investigated processes are determined. Progressive methods for manufacturing semi-finished foodstuff from wild growing fruit-berry and spicy-vegetable raw material are suggested. Constructions of the new type of equipment are developed and technological indexes of NRFV heat treatment are determined. Economic efficiency of scientific-technical developments is estimated and measures on their inculcation into production are performed.

*Key words:* concentrating, rotor film kettle, rheology, pastes, wild growing fruit-ferry and spicy-vegetable raw material.

Підп. до друку 02.11.2005. Формат 60x84 1/16. Папір письм. Друк офсет.  
Обл.-вид. арк. 1,9. Ум. друк. арк. 2,1. Ум. фарб.-відб. 2,1.  
Тираж 100 прим. Замов. №

---

ДОД ХДУХТ вул. Клочкіська, 333, 61051, Харків-51.