

**ХАРКІВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ ХАРЧУВАННЯ**

ПОЛЕВИЧ ВІТАЛІЙ ВАДИМОВИЧ

УДК 664.78:658.512.2

**МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ І РОЗРОБКА ПРОГРЕСИВНОГО
ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ**

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

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків – 2002

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківській державній академії технології та організації харчування Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант

доктор технічних наук, професор **Черевко Олександр Іванович**, Харківська державна академія технології та організації харчування, ректор, завідувач кафедри процесів, апаратів та автоматизації харчових виробництв

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор **Пахомов Павло Леонідович**, Харківська державна академія технології та організації харчування, професор кафедри холодильної та торговельної техніки

доктор технічних наук, доцент **Гуць Віктор Степанович**, Національний університет харчових технологій, завідувач кафедри охорони праці та цивільної оборони

доктор технічних наук, старший науковий співробітник **Перцев Леонід Петрович**, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", професор кафедри хімічної техніки і промислової екології

Провідна установа **Донецький державний університет економіки і торгівлі ім.М.Туган-Барановського** Міністерства освіти і науки України, кафедра холодильної і торговельної техніки, м. Донецьк

Захист відбудеться 1 липня 2002 р. об 11 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.64.088.01 Харківської державної академії технології та організації харчування за адресою: вул. Клочківська, 333, 61051, м.Харків.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківської державної академії технології та організації харчування за адресою: вул. Клочківська, 333, 61051, м. Харків.

Автореферат розісланий 31 травня 2002 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради

Михайлов В.М.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Удосконалення процесів переробки харчової сировини на сучасному етапі розвивається в напрямку створення комбінованих продуктів харчування зі збалансованим складом, що відповідають вимогам високорозвиненої науки про раціональне харчування людини. При цьому до складу рецептур включаються нетрадиційні для громадського харчування України види рослинної та тваринної харчової сировини, резерви якої достатньо великі. Крім того, у даний час існує тенденція до переробки природної харчової сировини в місцях її збирання на порівняно малих, за обсягом виробництва, переробних підприємствах у системі фермерських господарств, які швидко розвиваються в Україні. Для створення комбінованих продуктів, рецептура яких містить значну кількість природних сировинних компонентів, необхідно використовувати універсальні методи складання оптимальної рецептури. Водночас, слід також проводити експериментальні дослідження з метою виявлення характеру і ступеня впливу численних чинників на зберігання харчової та біологічної цінності вихідної сировини під час проведення різноманітних технологічних процесів її переробки в харчові напівфабрикати та готові кулінарні вироби. Упорядкування рецептури й проведення зазначених експериментів без визначеної науково обгрунтованої системи призводять до значних втрат праці, часу, енергії, матеріальних ресурсів і найчастіше дають недостовірні результати. У той же час сучасні високоефективні методи планування експериментів і статистичної обробки їх результатів з використанням швидкодіючої обчислювальної техніки надають можливість створення науково обгрунтованих прогресивних технологічних процесів переробки харчової сировини. Досягнуто певних успіхів у використанні зазначених методів під час розробки ряду окремих технологічних процесів, що дозволило збагатити асортимент продукції громадського харчування повноцінними напівфабрикатами та готовими продуктами, довести перспективність робіт у цьому напрямку. Тому проблему створення єдиного методологічного підходу до розробки прогресивних технологічних процесів та їх апаратурної реалізації під час проектування окремих етапів переробки харчової сировини рослинного та тваринного походження, з використанням сучасних методів математичного моделювання, варто визнати актуальною, що і є теоретичним та методологічним підґрунтям наукової концепції досліджень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана відповідно до планів держбюджетних робіт Харківської державної академії технології та організації харчування на замовлення Міністерства освіти і науки України, зокрема, згідно з темами: №7-99-01В, №7-99-2001Б “Математичне моделювання технологічних та економічних задач галузі”, науковим співкерівником яких є пошукач. Крім того, робота тематично пов'язана з загальнодержавною програмою щодо поліпшення продовольчого забезпечення населення України.

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є створення узагальненої методології застосування математичного моделювання під час розробки прогресивних технологічних процесів і обладнання для переробки харчової сировини в напівфабрикати та готові продукти, а також застосування цієї методології для моделювання основних технологічних етапів переробки сировини й окремих операцій на переробних і харчових підприємствах України. Для досягнення визначеної мети були поставлені й вирішені такі задачі дослідження:

- виділити основні технологічні етапи переробки харчової сировини рослинного та тваринного походження в харчові напівфабрикати та готові продукти;
- вивчити механізм здрібнювання сухих біополімерів харчової сировини та розробити принцип дії багатоцільового технологічного апарата для реалізації зазначеного процесу;
- побудувати математичну модель процесів здрібнювання й агломерації сухих біополімерів під час приготування харчових концентратів;
- вивчити кінетичні закономірності процесу відділення оболонки зерен і насіння, а також запропонувати заходи щодо удосконалення цього процесу;
- побудувати математичну модель процесу виходу екстрактивних речовин (ЕР) із зерен, що містять крохмаль, яка описує кінетику виходу ЕР;
- дати наукове обґрунтування можливості часткової заміни солоду на несолоджену зернову сировину під час виробництва пивного суслу;
- обґрунтувати переваги застосування методів напівбезперервної екстракції на переробних і харчових підприємствах;
- створити наукові основи вдосконалення технологічних процесів виробництва пива шляхом застосування методу безупинної протитокової екстракції на етапі затирання;
- розробити теоретичні основи енергоекономічного, надійного й довговічного апарата для охолодження пива кремнійорганічним холодоносієм;
- спланувати екстремальні експерименти та провести математичну обробку їх результатів з метою визначення оптимальних умов ряду технологічних процесів, зокрема, драглеутворювання під час виробництва желейних страв і створення харчових емульсій;
- дослідити показники якості нових продуктів, отриманих за допомогою удосконалених технологічних процесів, розроблених із застосуванням методів математичного моделювання;
- організувати комплекс заходів щодо впровадження результатів роботи в технологічну практику підприємств по переробці харчової сировини та приготуванню продуктів харчування;
- дати оцінку економічного та соціального ефектів практичного впровадження результатів роботи.

Об'єкт дослідження – процеси переробки рослинної та тваринної сировини в напівфабрикати і готові харчові продукти.

Предмет дослідження – харчова сировина, обладнання для її переробки.

Методи дослідження: узагальнені методи багатовимірного статистичного аналізу, планування і проведення експериментів, методи їх оптимізації в моделюванні технологічних процесів на базі комп'ютерної математики з метою виявлення найраціональніших параметрів процесів для створення нових продуктів із заданими властивостями.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у вирішенні науково-прикладної проблеми складання збалансованих за хімічним складом нових комбінованих продуктів і встановлення раціональних режимів технологічних процесів їх виробництва на основі узагальненої методології математичного моделювання.

На підставі проведених досліджень сформульовано наступні основні наукові положення:

- побудовано математичну модель процесу одержання концентрату сухих біополімерів на основі результатів дослідження кінетики процесу здрібнювання зерен і насіння рослинної сировини;
- отримано математичний опис кінетичних закономірностей процесу обрушування зерен і насіння рослинної сировини та побудовано залежність константи швидкості процесу від частоти обертання робочого органу технологічного апарата;
- розроблено наукові основи процесу розсіювання здрібнених зерен і насіння за фракціями з метою їхнього збагачення біологічно активними речовинами;
- розроблено модель прогресивного технологічного процесу обрушування зерен і насіння та запропоновано принцип дії апарата для його реалізації;
- побудовано математичну модель виходу екстрактивних речовин із зерен сировини, що містять крохмаль, яка описує закономірності внутрішньої дифузії й ферментативного гідролізу;
- розроблено математичну модель процесу одержання відварів із зернової сировини, яка описує закономірності внутрішньої та зовнішньої дифузії екстрактивних речовин;
- науково обгрунтовано доцільність застосування процесу напівбезперервної екстракції в кондитерському виробництві та на підприємствах харчування;
- розроблено наукові основи удосконалення технологічного етапу затирання у виробництві пива шляхом застосування методу безупинної протитокової екстракції;
- розроблено новий процес охолодження пива кремнійорганічним холодоносієм у безупинному режимі;
- визначено науково обгрунтовані оптимальні режими здійснення ряду технологічних процесів у спеціальних технологіях виробництва продуктів харчування.

Практичне значення одержаних результатів полягає в розробці та практичному впровадженні прогресивних процесів переробки харчової сировини на основі результатів спланованих експериментів, промодельованих і оптимізованих відповідно до узагальненої

методології. Отримані математичні моделі можуть і надалі використовуватися для розробки прогресивних технологічних процесів і обладнання.

Реалізація результатів роботи. На основі результатів реалізації наукової концепції, проведених теоретичних та експериментальних досліджень щодо розробки технологічного процесу переробки зернової сировини було виготовлено удосконалену установку (фермер-комбайн) для приготування порошкоподібних продуктів (довідка Спеціалізованого конструкторсько-технологічного бюро “Муссон-Ласпи” № 70/6-6 від 08.05.2001 р.).

Практичного впровадження результати досліджень процесів переробки зернової сировини набули на переробних підприємствах Асоціації фермерів та землевласників України (довідка від 12.07.2001р.) та Асоціації фермерів Харківської області (довідка від 11.04.2001р.).

Затверджено нормативну документацію на харчові вироби, розроблені із застосуванням методів математичного моделювання: торт “Шоколадно-зефірний” (ТУ У 40-01566330.085-2000); торт “Шоколадно-желейний” (ТУ У 40-01566330.084-2000).

Впроваджено на підприємствах України прогресивні технологічні процеси приготування нових харчових виробів, розроблені із застосуванням методів математичного моделювання, що підтверджується довідками: ОАО “Севастопольський пиво безалкогольний завод” – від 27.02. 2002 р., корпорації “Техноком” – від 16.08.2001р., фірми “Продуниверсал” – від 6.08.2001р., АО “Промснаб” від – 14.08.2001р., комунального підприємства “Студентське” – від 31.10.2001 р.; актами проведення виробничих досліджень з впровадження нових процесів: одержання масляних кремів на основі копреципітата – від 20.07.2000р. (ВАТ “Золочівський молокозавод”), агломерації біополімерів – від 26.09.2000р. (НВФ “Техноимпульс”), охолодження пива та рецептурних сумішей харчових продуктів – від 30.09.2000р. (ТОВ “Карпіджани”), регенерації олії – від 6.09.2001 р. (фабрика-кухня ВАТ “Серп і Молот”), підвищення якості майонезу – від 25.10.2001р. (ЗАТ “Дергачівський жировий комбінат”); одержання молочно-білкової маси – від 20.07.2001 р. (ВАТ “Міськмолокозавод” №1); акти про випуск дослідно-промислової партії харчових продуктів: тістечка “Краківське” – від 12.02.2001 р., тістечка “Пісочне” – від 12.02.2001р., торту “Шоколадно-желейний” за ТУ У 40-01566330.084-2000 – від 17.11.2000 р., торту “Шоколадно-зефірний” за ТУ У 40-01566330.085-2000 – від 17.11.2000 р. (МЧП “Бисквит”).

Для використання у навчальному процесі основних положень дисертаційної роботи розроблено в співавторстві 3 навчальних посібника (загальним обсягом 28д.а.), рекомендованих Міністерством освіти і науки України для студентів вищих закладів освіти III і IV рівнів акредитації, які готують спеціалістів у галузі розробки прогресивних технологічних процесів переробки харчової сировини (довідка про впровадження в навчальний процес № 01-22/241 від 22.03.02 р.).

Особистий внесок здобувача в наукових працях, опублікованих разом із співавторами, полягає в складанні загальної програми математичного моделювання результатів експериментальних досліджень, плануванні екстремальних багатофакторних технологічних експериментів, статистичній обробці результатів експериментів, формулюванні наукових висновків і практичних рекомендацій щодо розробки прогресивних процесів і обладнання для переробки харчової сировини, особистій участі в підготовці, проведенні експериментів та підготовці їх результатів до опублікування та впровадження на підприємствах, а також в складанні заявок на патенти і винаходи, що передбачаються.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційної роботи були представлені, обговорені та схвалені на таких наукових, науково-практичних конференціях і семінарах:

- республіканській науковій конференції “Пути коренного улучшения продовольственного обеспечения в новых условиях хозяйствования” (Київ, 1990р.);
- III науково-технічному семінарі “Электротехнология пектиновых веществ” (Київ, 1992 р.);
- IV науково-технічному семінарі “Электротехнология пектиновых веществ” (Київ, 1992 р.);
- науково-практичній конференції “Потребительская кооперация в переходный период. Проблемы и перспективы” (Полтава, 1995 р.);
- науково-практичній конференції “Стан і проблеми розвитку торгівлі й харчування в Україні” (Харків, 1997 р.);
- науково-практичній конференції “Підприємства і цехи малої потужності по переробці сільськогосподарської сировини: ефективність і особливості організації” (Полтава, 1998 р.);
- міжнародній науково-практичній конференції “Проблеми якості у громадському харчуванні, готельному господарстві і туризмі” (Київ, 1998 р.);
- регіональній виставці-ярмарку “Наука Харківщини – 2000” (Харків, 2000);
- IX міжнародній науковій конференції “Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье” MicroCAD-2001-Харків (Харків, 2001);
- науково-практичній конференції “Интегрированные технологии и энергосбережение “ИТЭ-2001”” (Крим, 2001);
- II міжнародній науково-практичній конференції “Актуальні проблеми харчування: технологія і обладнання, організація і економіка” (Слав’яногорськ, 2001);
- науково-практичних конференціях професорсько-викладацького складу ХДАТОХ протягом 1990-2002 рр.

Публікації. Результати досліджень опубліковані в 62 друкованих працях, з них – 1 монографія; 22 статті в наукових фахових виданнях, які входять до переліку, затвердженого ВАК

України, із яких 10 статей опубліковано без співавторів; 18 тез доповідей; 5 патентів на винахід та 6 деклараційних патентів на винаходи.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, 7 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Дисертацію викладено на 271 сторінці машинописного тексту, що містить 40 таблиць і 83 рисунка, 4 додатки. Список використаних джерел містить 507 найменувань, з них 45 іноземних.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету та задачі дослідження, охарактеризовано наукову новизну та практичне значення одержаних результатів.

У першому розділі “Застосування методів математичного моделювання під час розробки процесів і обладнання для переробки харчової сировини” на основі проведеного аналізу літературних даних з проблеми зроблено висновок про необхідність широкомасштабного застосування методів математичного моделювання під час розробки прогресивних технологічних процесів переробки харчової сировини, а також окремих етапів і процесів виробництва продуктів харчування з підвищеною харчовою та біологічною цінністю. У наукових працях І.О.Рогова, І.С. Гулого, М.І. Беляєва, О.Ф. Буляндри, О.І. Черевка, А.М. Дорохович та інших вчених були використані сучасні методи планування та математичної обробки результатів багатofакторних експериментів з метою визначення раціональних параметрів технологічних процесів виробництва харчових продуктів, а також оцінки їх якості. У той же час проблемам переробки харчової сировини, зокрема процесам її первинної обробки, приділялось значно менше уваги, що гальмувало процес вдосконалення відповідного технологічного обладнання. Тому були сформульовані загальні принципи побудови наукової методології вдосконалення технологічних процесів приготування напівфабрикатів і готових продуктів із харчової сировини з використанням сучасних методів математичного моделювання.

Викладено існуючі методи планування багатofакторних, зокрема, екстремальних, експериментів і статистичної обробки їх результатів із застосуванням ефективною обчислювальною техніки. Обгрунтовано необхідність більш загального підходу до математичного моделювання як наукової основи розробки прогресивних процесів переробки харчової, зокрема, зернової рослинної сировини в напівфабрикати та готові кулінарні вироби, а також створення оптимізованого обладнання для реалізації цих процесів.

У другому розділі “Наукове обгрунтування та технологічна реалізація процесу переробки зернової і насінної сировини в харчові напівфабрикати” охарактеризовано проблеми, які виникають

під час переробки харчової сировини, а також основні технологічні етапи переробки зернової та насінної сировини.

Зазначено, що основним із цих етапів варто вважати здрібнювання частинок сировини до розмірів у інтервалі 1...50 мкм, і розглянуто механізм здрібнювання під дією сил зовнішнього та внутрішнього тертя. Для одержання здрібнених сухих біополімерів із зернової сировини та наступного їх агломерування з метою приготування харчових напівфабрикатів із заданими технологічними властивостями і високою харчовою і біологічною цінністю під керівництвом проф. Коваленка В.І. у 1990р. було спроектовано та виготовлено установку для приготування порошкоподібних продуктів, на базі якої після поступового удосконалення було створено експериментальний зразок багатоцільового технологічного апарата.

На експериментальному зразку цього апарата (рис. 1.) було проведено систематичне дослідження кінетики процесу одержання тонкодисперсної фракції з різних видів зернової сировини. Ця кінетика кількісно описана залежністю об'єму частинок сировини від тривалості процесу; типові залежності при різних частотах обертання робочого органу (n) подані на рис. 2.

Математичне моделювання цих та інших експериментів показало, що процес з достатньою точністю (похибка - 1...3%) описуються формулою

$$V = V_0 \exp(-k\tau), \quad (1)$$

де V - поточний об'єм частинки сировини, м³;

V_0 - початковий об'єм частинки, м³;

k - константа швидкості процесу, с⁻¹;

τ - тривалість процесу, с.

Константа швидкості k для всіх видів дослідженої сировини лінійно зростає зі збільшенням частоти обертання робочого органу (n)

$$k = A + Bn, \quad (2)$$

де A і B - константи, які залежать від виду сировини.

При $n \cdot 60^{-1} < 5...6$ с⁻¹ величина k стає настільки малою, що процес здрібнювання частинок сировини практично припиняється; цей факт є важливим і обов'язково підлягає врахуванню під час практичної реалізації процесу, що розглядається.

Процес агломерації полідисперсних сукупностей сухих біополімерів із зернової сировини полягає в укрупненні їх порошкоподібних частинок за умови зберігання максимально можливої питомої поверхні. Багатоцільовий апарат, згаданий вище, є придатним і для реалізації процесу агломерації.

Ці результати було покладено в основу створення прогресивного апарата для здрібнення та агломерування частинок зернової сировини; випробування промислового зразка цього апарата показали його придатність до умов використання на фермерських господарствах України, які займаються переробкою зернової сировини в місцях її збирання.

У третьому розділі “Наукові основи технологічних процесів первинної обробки харчової рослинної сировини” наведено результати системного дослідження закономірностей важливого технологічного етапу переробки зернової та насінної сировини – звільнення її частинок від оболонки (обрушування). Цей етап суттєво впливає на якість харчових напівфабрикатів, виготовлених із згаданих видів сировини; його ефективність може бути значно підвищена на базі математичного моделювання процесу обрушування. Попередньо були вивчені геометричні параметри нелущених і лущених зерен рису, ячменю, вівса та інших видів зернової сировини. Моделювання процесів переробки дозволило встановити таку теоретичну функцію розподілу зерен $f_d(\%)$ за розміром d :

$$f_d = f_d^0 \left(\frac{d}{d_0} \right)^{m_1} \exp \left\{ \mu + \lambda \left(\frac{d}{d_0} \right) + \chi \left(\frac{d}{d_0} \right)^2 \right\}. \quad (3)$$

Значення параметрів формули (3) f_d^0 , μ , λ , χ , d_0 , m_1 наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Параметри теоретичної функції розподілу зерен рису за розміром

Геометричний параметр	Вид зерна	f_d^0 , %	μ	$\lambda \cdot 10^{-2}$, м ⁻¹	$\chi \cdot 10^{-4}$, м ⁻²	$d_0 \cdot 10^2$, м	m_1
Товщина	нелущене	32	-1368	1917	-549	2,5	-817
	лущене	25	-1032	1460	-429	2,2	-607
Ширина	нелущене	20	-434	621	-187	4,6	-248
	лущене	20	-310	461	151	3,6	-166
Довжина	нелущене	22	237,8	-286,7	48,9	7,8	190,6
	лущене	36	87	-91,3	4,5	5,7	81

Значний інтерес з практичної точки зору представляє густина зерен, яка може бути причиною самосортування сумішей у багатьох технологічних апаратах. Залежності густини (ρ) зерен рису від їх вологості (W) з високою точністю (1...2%) описуються формулами (4) для лущених і (5) для нелущених зерен, відповідно:

$$\rho_{\text{луц}} = 1528,13 - 12,36 W, \quad (4)$$

$$\rho_{\text{н/луц}} = 252,27 + 135,97W - 4,89W^2. \quad (5)$$

Розподіл зерен рису за густиною для лущених зерен є наближеним до нормального і описується формулою

$$f_{\text{луц}} = f_{\text{луц}}^0 \exp \left\{ -\alpha_{\text{луц}} \left(\rho - \rho_{\text{луц}}^0 \right)^2 \right\}, \quad (6)$$

на відміну від розподілу для зерен з оболонками (нелущених)

$$f_{\text{н/луц}} = f_{\text{н/луц}}^0 \rho_n^\mu \exp \left\{ \alpha + \beta \rho_n - \gamma \rho_n^2 \right\}, \quad (7)$$

який має від'ємну асиметрію.

Параметри, що входять до формул (6, 7), мають такі значення: $\alpha_{\text{луц}} = 0,0004 \text{ м}^6/\text{кг}^2$, $\alpha = -1027$, $\beta = 1448 \text{ м}^3/\text{кг}$, $\gamma = 420 \text{ м}^6/\text{кг}^2$, $\mu = -608$; $\rho_n = \rho \left(\rho_{\text{н/луц}}^0 \right)^{-1}$; $\rho_{\text{луц}}^0 = 1380 \text{ кг/м}^3$ і $\rho_{\text{н/луц}}^0 = 1200 \text{ кг/м}^3$ - точки максимуму теоретичних розподілів, а $f_{\text{луц}}^0 = 45\%$ та $f_{\text{н/луц}}^0 = 20\%$ - відповідні максимальні значення функцій у цих точках.

Розподіл частинок рису за швидкостями віднесення (витання) v_e при вологості зерен 15% мають розподіл, близький до нормального

$$f^{(e)} = f_0^{(e)} \exp \left\{ -\alpha^{(e)} \left(v_e - v_0 \right)^2 \right\}. \quad (8)$$

Параметри розподілу (8) дорівнюють: для лущених частинок - $f_0^{(e)} = 16,5\%$, $\alpha^{(e)} = 0,49 \text{ с}^2/\text{м}^2$; $v_0 = 6,5 \text{ м/с}$; для нелущених - $f_0^{(e)} = 15\%$, $\alpha^{(e)} = 0,54 \text{ с}^2/\text{м}^2$, $v_0 = 7,5 \text{ м/с}$. Розподіли для лущених і нелущених зерен трохи зміщені один відносно одного і перетинаються на значній площі; зсув розподілу для лущених зерен у бік менших швидкостей пояснюється їх більшою густиною. З цих даних видно, що розділити таку суміш лущених зерен і оболонок із необхідною продуктивністю методом однократного пневмосепарування практично неможливо. Для повного поділу суміші необхідно здійснити процес, який складається з декількох етапів. При цьому слід забезпечити такий вигляд кривої розподілу частинок оболонок за швидкостями віднесення, щоб ця крива була цілком відокремлена від кривих, описаних формулою (8), і займала інтервал значень швидкості віднесення 0...4 м/с із максимумом поблизу 2 м/с.

Дослідження кінетики процесу обрушування з метою виявлення загальних закономірностей і конкретних особливостей процесу були проведені для різноманітних видів зернової сировини: зерен ячменю, сорго, вівса, насіння соняшнику. Як приклади на рис. 3 і 4 подано залежності відносної маси зерен проса і ячменю (G/G_0) від тривалості (τ) процесу обрушування при різних частотах обертання робочого органа апарата (n).

Відповідно до теоретичних уявлень, залежності відносної маси зерен проса від тривалості процесу обрушування (рис. 3) з достатньою точністю описуються експоненціальною функцією

$$\frac{G}{G_0} = \exp(-k\tau), \quad (9)$$

де G_0 – початкова маса неочищених зерен, кг;

G – поточна маса цих зерен, кг;

k – константа швидкості процесу, с^{-1} .

Залежність константи швидкості процесу від частоти обертання робочого органа ($n \cdot 60^{-1}$, с^{-1}) задовільно описується лінійною функцією

$$k = -1,116 \cdot 10^{-3} + 3,062 \cdot 10^{-6} n. \quad (10)$$

Кінетика обрушування зерен ячменю, які значно відрізняються за формою від зерен проса також узгоджується з формулою (9), оскільки при $k\tau \ll 1$ вона має вигляд

$$G \approx G_0 \cdot (1 - k\tau). \quad (11)$$

Залежність $k(n)$ для зерен ячменю також має лінійний характер ($n \cdot 60^{-1}$, с^{-1})

$$k = -3,127 \cdot 10^{-4} + 9,021 \cdot 10^{-7} n. \quad (12)$$

Аналогічні закономірності спостерігались для процесу обрушування зерен сорго.

Дослідження кінетики обрушування насіння соняшнику показало, що для досягнення ефективності цього процесу необхідні більші частоти обертання робочого органа апарата, ніж для інших видів зернової сировини – $10 \dots 12 \text{ с}^{-1}$. Крім того, збільшення частоти обертання значно підвищує константу швидкості процесу обрушування порівнянно з іншими видами сировини. Ці особливості необхідно врахувати під час проектування технологічного апарата для обрушування насіння соняшнику.

Особливістю кінетики обрушування зерен вівса має суттєво нелінійний характер залежності $k(n)$, яка описується формулою

$$k = 1,3 \cdot 10^{-3} - 6,2 \cdot 10^{-6}n + 7,6 \cdot 10^{-9}n^2. \quad (13)$$

Крім того, при $n \cdot 60^{-1} < 6,67c^{-1}$ повне обрушування зерен вівса не відбувається. Ці закономірності пояснюються особливою міцністю зв'язку лушпиння вівса з зерном.

Був вивчений також вплив операції розсіювання тонкодисперсних сумішей сухих біополімерів на якість харчових напівфабрикатів, виготовлених із зернової сировини. Ця операція утворює концентрування біологічно активних речовин (БАР) за окремими фракціями; більшість БАР опиняється в тонкодисперсних фракціях. Дослідження процесу розмелювання озимої пшеничної соломи, лушпиння соняшнику, сумішей люцерни та тимофіївки (50% + 50%), качанів кукурудзи, пивоварного солоду й ін. дозволило дійти висновку, що руйнування рослинної сировини необхідно проводити на рівні клітинних структур для вилучення корисних екстрактивних речовин із клітин. Цей процес можна здійснити лише за допомогою здрібнювачів, у яких використовується механізм руйнування частинок сировини тертям; при цьому одночасно здійснюється розподіл за фракціями із розміром частинок менше 10^{-3} м, який веде до збагачення здрібнених частинок цінними БАР.

На основі викладених вище результатів експериментальних і теоретичних досліджень було розроблено удосконалений експериментальний зразок багатоцільового технологічного апарата, призначеного для використання переважно у фермерських господарствах, які самостійно займаються первинною обробкою зернової та насінної рослинної сировини, а також на малих підприємствах харчування. Апарат дозволяє виконувати ряд операцій, у тому числі обрушування зерен і насіння, поділ сумішей на окремі фракції, а також змішування порошкоподібних компонентів і їхнє зволоження для досягнення відповідних технологічних цілей.

У **четвертому розділі** “Моделювання технологічних етапів процесу екстрагування рослинної сировини” описано математичну модель процесу екстрагування зерен, що містять крохмаль і продукти ферментативного гідролізу. Урахування сукупного протікання гідролізу і внутрішньої дифузії екстрактивних речовин (ЕР) призвело до побудови математичної моделі, що описує просторовий розподіл екстрактивних речовин у зернах. Крохмаль під час гідролізу розщеплюється на ряд речовин у відповідності до схеми, поданої на рис. 5, 6.

Для швидкостей зміни концентрації (C_i) кожної з цих речовин можна записати такі рівняння:

$$\frac{dC}{dt} = K_2 C_{Ax} + K_5 C_{Ep} + K_7 C_{Kp} + K_8 C_{Am}, \quad (14)$$

$$\frac{dC_{Ax}}{d\tau} = K_1 C_{Kp} + K_4 C_{Ep} - K_2 C_M, \quad (15)$$

$$\frac{dC_{Kp}}{d\tau} = -K_1 C_{Ax} - K_3 C_{Ep} - K_6 C_{Am} - K_7 C_M, \quad (16)$$

$$\frac{dC_{Ep}}{d\tau} = K_3 C_{Kp} + K_9 C_{Am} - K_4 C_{Ax} - K_5 C_M, \quad (17)$$

$$\frac{dC_{Am}}{d\tau} = K_6 C_{Kp} - K_9 C_{Ep} - K_8 C_M. \quad (18)$$

Якщо отримати залежності концентрації речовин від тривалості процесу експериментальним шляхом, то, зіставляючи ці залежності з рівняннями (14-18), можна визначити константи швидкості $K_1 \dots K_9$. Загальний вигляд цих залежностей показано на рис. 7.

Для концентрації крохмалю можна написати вираз

$$C_{Kp} = C_{Kp_0} \cdot \exp(-K\tau), \quad (19)$$

де C_{Kp_0} - початкова концентрація крохмалю;

K - константа розщеплення крохмалю, s^{-1} ($K \approx 4 \cdot 10^{-4}, s^{-1}$).

Відповідно для концентрації кінцевого продукту розщеплення крохмалю - мальтози - можна написати вираз

$$C_M = C_\infty [1 - \exp(-K\tau)], \quad (20)$$

причому при $\tau \rightarrow \infty$ повинно бути $C_\infty = C_{Kp_0}$.

Така ситуація може мати місце лише при відсутності дифузійних процесів всередині частинки сировини. Наближення до такої ситуації можливе при малих розмірах частинок (менше 0,5 мм). При врахуванні внутрішньої дифузії речовин у частинках задача математичного опису процесу ускладнюється залежністю концентрації мальтози від координати всередині частинки. Отримані відповідні громіздкі математичні вирази тут не наводяться.

Заключною стадією процесу екстракції є зовнішня дифузія з поверхні частинок сировини в екстрагент. Закономірності цього процесу визначаються гідродинамічними умовами взаємодії сировини й екстрагента. Якщо рух середовища відносно частинок практично відсутній (як це має місце, наприклад, на етапі затирання під час виробництва пива), то відбувається процес молекулярної дифузії, який можна описати звичайними методами математичної фізики. При

наявності руху середовища відносно частинок відбувається конвективне перенесення ЕР з поверхні частинок у середовище, інтенсивність якого залежить від режиму течії екстрагента. Отримані відповідні громіздкі математичні вирази тут не наводяться.

Далі було розроблено математичну модель процесу приготування відварів із зернової сировини, в якій враховуються всі стадії екстрагування – набрякання зерен, ферментативний гідроліз, розчинення продуктів гідролізу, що утворилися, внутрішня і зовнішня дифузія розчинених ЕР.

Обґрунтовано можливість часткової (30%) заміни ячмінного солоду на зернове сорго під час приготування пивного суслу, яка була реалізована в пивоварстві України. Ця заміна є економічно вигідною, оскільки ячмінний солод є дорогою і дефіцитною сировиною під час виробництва пива. Оскільки зерна сорго набрякають значно повільніше, ніж частинки солоду, то для прискорення ферментативного гідролізу крохмалю в зернах необхідно вводити додатково певні ферментні препарати з відповідним видом активності. Ця задача була успішно промодельована і розв'язана експериментальним шляхом.

Далі було дано обґрунтування доцільності застосування напівбезперервної екстракції на підприємствах харчування і кондитерської промисловості, що дозволяє істотно підвищити вихід ЕР під час виробництва різноманітних харчових добавок. Цей спосіб екстрагування полягає в тому, що одним з елементів технологічного процесу є завантаження в екстрактор спеціально підготовленої рослинної сировини, через прошарок якої потім проходить безупинним потоком екстрагент.

Удосконалено процес приготування пивного суслу на основі проведених досліджень кінетики різних стадій етапу затирання – набрякання частинок здрібненої зернової сировини, ферментативного гідролізу крохмалю і частини білків у зерні й екстракції продуктів гідролізу з частинок сировини. Було запропоновано застосування безупинного протитокового екстрактора на етапі затирання, що створює оптимальні умови для процесу набрякання. Для збільшення тривалості контактування зернової сировини з водою було вмонтовано реактор-змішувач, призначений для перемішування висококонцентрованих суспензій. Встановлено раціональний температурний режим процесу одержання суслу ($\approx 55^\circ\text{C}$). Широкомасштабне впровадження нового способу затирання в безупинному протитоковому екстракторі дозволяє одержати значний економічний ефект завдяки скороченню тривалості технологічного процесу, усуненню простоїв обладнання і зниженню трудових витрат через можливість автоматизації управління процесом.

У п'ятому розділі “Теоретичні основи розробки прогресивного процесу охолодження пива” описано розроблений спосіб охолодження пива проміжним кремнійорганічним холодоносієм – олігофторорганосилоксановою рідиною ФС-Т-5 промислового виробництва. Цей холодоносіє практично задовольняє всьому комплексу вимог до речовини даного призначення, і його використання забезпечує надійну й довговічну роботу апаратів охолодження. Пиво з початковою

температурою t'_1 надходить самопливом або за допомогою ручного насоса в змійовик охолодження і на його виході має температуру t''_1 ; з технологічних міркувань доцільно встановити такі значення цих параметрів: $t'_1 = +30^\circ\text{C}$; $t''_1 = +5^\circ\text{C}$. Змійовик занурений у ємність, заповнену кремнійорганічним холодоносієм, який за допомогою циркуляційного насоса прокачується через ванну з певною розрахунковою швидкістю; середня температура холодоносія $\bar{t}_2 = \frac{1}{2}(t'_2 + t''_2) = +1^\circ\text{C}$ була обрана з технологічних і технічних міркувань і підтримується у випарнику холодильної машини, яка працює на озонобезпечному хладоні R134A. Застосування цих видів холодоносія та холодоагенту забезпечує повну екологічну чистоту запропонованого процесу охолодження пива. Для раціонального вибору холодильної машини та циркуляційного насоса був проведений повний тепловий і гідравлічний розрахунок системи охолодження.

При тепловому розрахунку апарата використовувалися отримані порівняно недавно дані про теплофізичні властивості кремнійорганічної рідини ФС-Т-5 при знижених температурах. Далі на основі гідравлічного розрахунку циркуляційного контура холодоносія за відомою методикою визначалися повні витрати тиску – 2033Па, причому 94% припадає на випарник холодильної машини. Циркуляційний насос має створювати напір 0,18 м і мати потужність приводу не менше 10Вт. Ці характеристики забезпечуються багатьма типами насосів, і конкретний вибір придатного насоса для апарата, що розглядається, є досить широким. Показник питомих енерговитрат на одиницю продукції (охолодженого пива) при повній споживній потужності апарата 0,3кВт і вказаній вище його продуктивності становить $5,56 \cdot 10^4 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \approx 0,0153 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{кг}}$. Цей показник є нижчим, ніж для більшості існуючих апаратів охолодження напоїв.

Відзначені переваги запропонованого способу охолодження пива проміжним кремнійорганічним холодоносієм – висока енергоекономічність, екологічна чистота, експлуатаційна надійність, довговічність, широкий температурний інтервал охолодження пива і безперервний режим роботи – мають зумовити його широкомасштабне впровадження на численних підприємствах торгівлі та харчування, що реалізують охолоджене пиво населенню України, зі значним очікуваним економічним і соціальним ефектами.

У шостому розділі “Математичне моделювання окремих процесів під час розробки спеціальних харчових технологій” наведено результати оптимізації технологічного режиму деяких процесів під час приготування нових комбінованих продуктів. Зокрема, теоретично обґрунтовано спосіб модифікації драглеутворювачів вітчизняного виробництва (білкової природи – желатин; полісахаридної – агар, агароїд, фурцеларан, карагінан) додаванням альгінату натрію і хлориду кальцію в раціональних концентраціях, що дає змогу зменшити витрати драглеутворювачів у кондитерському виробництві. Були проведені дослідження міцності гелів полісахаридів у

присутності поліатомних спиртів (ПАС) і солей органічних кислот (СОК), а також їх сполучень. Математичне опрацювання отриманих експериментальних результатів здійснювалося методом сплайнової інтерполяції функцій багатьох змінних; доповнені теоретичним шляхом значення міцності гелів зіставлялися з отриманими в експерименті. Було показано, що міцність драглів при сукупному введенні ПАС і СОК значно вище порівняно зі зразками, що містять лише СОК або ПАС, незалежно від природи солі або спирту. При цьому максимальні значення міцності драглів досягалися в різних інтервалах концентрацій добавок. Так, залежність міцності (P) 2% драглів фурцеларану від концентрацій гліцерину ($C_{2л}$) та лактату натрію ($C_{лн}$) може бути промодельована поліномом другого степеня

$$P = b_0(C_{лн}) + b_1(C_{лн}) C - b_2(C_{лн}) C^2. \quad (21)$$

Значення параметрів $b_0(C_{лн})$, $b_1(C_{лн})$, $b_2(C_{лн})$ наведено в табл. 2.

Математичне моделювання процесів з метою встановлення оптимальних концентрацій обраних добавок проводилася з використанням комп'ютерної математики. Рішення поставленої задачі для систем із двома технологічними параметрами (X – відносна концентрація солі, Y – відносна концентрація спирту) з урахуванням вимоги до рецептурної суміші звелось до визначення форми нелінійного зв'язку в трьохмірному просторі.

Таблиця 2

Параметри статистичної моделі міцності 2% драглів фурцеларану

$C_{лн}$	b_0, Γ	t_{b_0}	b_1, Γ	t_{b_1}	b_2, Γ	t_{b_2}	R		B_n	F
0,027	137,78	19,43	2732,7	7,3	-18782,3	-5,13	0,981	0,963	0,945	52,29
0,045	217,2	51,72	2116,4	11,68	-15503,3	-8,9	0,988	0,976	0,965	100,38
0,063	205,2	60,29	812,4	4,30	-8471,4	-4,03	0,888	0,789	0,705	9,33

Аналіз характеру зміни функцій показав, що для всіх одержаних функцій, які моделюють міцність драглів, існують виражені екстремуми в зоні значень параметрів: $0,036 M \leq X \leq 0,072 M$; $0,033 M \leq Y \leq 0,084 M$, що відповідає концентрації СОК від 0,4 до 1% і ПАС від 0,4 до 0,8%.

Параметри, що визначають поверхню відгуку, є статистично значущими. Рівняння поверхні адекватно співвідноситься з результатами експерименту – похибка не перевищує 5%. Вказані результати досліджень були використані під час розробки нової технології приготування желейних виробів.

Желатин найчастіше використовується в підприємствах харчування як гелеутворювач, стабілізатор емульсій і пін. Був досліджений вплив добавок лактату натрію (ЛН), цитрату натрію (ЦН), ацетату натрію (АН) на міцність желатинових драглів і встановлено їх зміцнювальний ефект (до 35%); спільне введення багатоатомних спиртів і солей органічних кислот призводить до подальшого зміцнення драглів. Залежність міцності желатинових драглів від концентрації добавок має нелінійний характер (рис. 9). Так, міцність (P) 3 % драглів желатину залежно від концентрацій ЛН ($C_{лн}$) та ГЛ ($C_{гл}$) може бути адекватно промодельована функцією виду

$$P = p_0 (C_{гл}) + p_1 (C_{гл}) C_{лн} + p_2 (C_{гл}) C_{лн}^2 . \quad (22)$$

Параметри $p_0 (C_{гл})$, $p_1 (C_{гл})$, $p_2 (C_{гл})$ цієї залежності, а також результати статистичного моделювання наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Параметри статистичного моделювання залежності міцності 3% драглів желатину від концентрації лактату натрію

$C_{лн}$	p_0, Γ	t_{p_0}	p_1, Γ	t_{p_1}	p_2, Γ	t_{p_2}	R	B	B_n	F
0	392,3	40,24	2551,8	6,02	-10817,7	-2,86	0,986	0,973	0,96	72,97
0,02	427,5	50,68	3556,4	9,69	-18673,2	-5,71	0,992	0,985	0,977	130,48
0,04	420,5	63,49	3026,6	10,5	-15797,4	-6,15	0,994	0,987	0,981	155,1
0,06	413,3	48,26	2701,2	7,25	-13354	-4,02	0,988	0,972	0,964	82,07

Дослідження отриманих експериментальних даних методами багатомірного статистичного аналізу показало, що виражений екстремум функції двох змінних знаходиться в зоні 0,02...0,04 М для гліцерину, 0,07...0,5 М для ЛН і 0,03...0,06 М для сорбіту. Оптимальна концентрації гліцерину становить 0,02 М або 0,2%. Ксиліт варто вводити в концентраціях вище 0,1 М, сорбіт – вище 0,04 М.

Встановлено раціональний режим очищення рослинної олії з застосуванням бентонітового адсорбенту - палигорскіту черкаського: температура олії – $50 \pm 5^\circ\text{C}$, кількість адсорбенту – 5...10% маси олії, тривалість контактування олії з адсорбентом – 600...900 с. Розглянуто проблеми удосконалення обладнання для одержання ароматизаторів з ефірномасляних дикорослих рослин.

Запропоновано також новий спосіб виділення білків молока, який дозволяє регулювати структурно-механічні властивості (СМВ) і консистенцію білка молочного харчового (БМХ), отриманого термокислотою коагуляцією. Спосіб полягає у виборі раціонального температурного режиму змішування молока і сироватки при зниженні температури коагуляції. Експериментально

показано, що білок з поліпшеними властивостями отримується при температурі 80...85°C. Встановлено оптимальний режим одержання білково-жирових емульсій; зокрема, при рН 5,6...6,0 максимальна в'язкість відзначена при концентрації жиру 10...13%, а при рН 6,5...7,0 – при 20...25%.

Проведено оптимізацію процесу піноутворення копреципітату. Методами статистичного моделювання було доведено, що з достатнім ступенем адекватності залежність піноутворюючої здатності (F_1 , %) і стійкості піни (F_2 , %) від параметрів X_1 (температура коагуляції, °C) і X_2 (вологість, %) можна описати нелінійною функцією відгуку виду

$$F_{\kappa} = \alpha_{\kappa}(X_2) + \beta_{\kappa}(X_2)X_1 + \gamma_{\kappa}(X_2)X_1^2. \quad (23)$$

Значення індексу $\kappa = 1$ відповідає F_1 , а $\kappa = 2$ - F_2 . Параметри (α_{κ} , %), (β_{κ} , град⁻¹), (γ_{κ} , град⁻²) наведені в табл. 4.

Таблиця 4

Параметри функції відгуку

X_2	68 %	72 %	76 %	80 %	X_2	68 %	72 %	76 %	80 %
α_1	-1519,4	-1799,7	-1272,1	-114,4	α_2	-622,1	-619,5	-680,5	-969,8
t_{α_1}	-3,7	-3,5	-18,9	-4,2	t_{α_2}	-7,49	-6,1	-4,2	-9,9
β_1	56,98	65,27	47,71	7,38	β_2	20,13	19,83	21,13	29,15
t_{β_1}	3,5	4,3	23,5	3,9	t_{β_2}	8,4	6,8	4,5	10,3
γ_1	-0,45	-0,5	-0,34	-0,06	γ_2	-0,14	-0,14	-0,14	-0,2
t_{γ_1}	-3,9	-4,6	-24,9	-3,7	t_{γ_2}	-8,17	-6,5	-4,5	-9,98
R_1	0,97	0,97	0,988	0,96	R_2	0,98	0,975	0,95	0,988
F_1	20,9	24	499	18	F_2	38,7	28,6	14,2	64

Доведено, що для копреципітата характерна екстремальна залежність піноутворюючих властивостей від температури коагуляції; максимум досягається при температурі коагуляції, близької до 65°C. Встановлено оптимальні інтервали для температури коагуляції, вологості та рН, в яких копреципітат має найкращі піноутворюючі, емульгувальні та вологоутримуючі параметри.

Запропоновано математичну модель процесу одержання емульсії, на основі якої можна визначити ширину (h) зони утворення емульсії при відомих значеннях частоти обертання мішалки (n), частоти обертання ротора (N), діаметра ротора (D_p), в'язкості емульсії (μ), поверхневого натягу

(σ) на межі розподілу фаз і прискорення вільного падіння (g). Можна записати зв'язок між h і рештою параметрів таким чином

$$\frac{h}{D_p} = 2,5 \cdot \left(\frac{N}{n}\right)^{-1,56} \cdot \left(\frac{n^2 D_p}{g}\right)^{0,25} \cdot \left(\frac{g\mu}{\sigma n}\right)^{1,0} \cdot \left(\frac{\rho_b - \rho_l}{\rho_l}\right)^{-0,55}. \quad (24)$$

Побудована математична модель відображує закономірність даного процесу з похибкою біля 1%, що свідчить про її адекватність.

Загалом проведені дослідження виявили плідотворність застосування математичного моделювання під час розробки та вдосконалення широкого кола технологічних процесів (або їх окремих етапів) і відповідного обладнання, необхідного для їх практичної реалізації.

У сьомому розділі “Практична реалізація результатів досліджень” наведено результати дослідження показників якості продуктів, отриманих за прогресивними технологічними процесами, які розроблено на основі методів математичного моделювання. Знайдено, що нові продукти за якістю не поступаються традиційним, а в деяких випадках перевершують їх за рядом показників. У зв'язку із складністю харчових продуктів як предмета дослідження за сучасного рівня розвитку наукових знань запропоновано комбінований спосіб вимірювання якості продукції. Використано метод відображення якості у вигляді планарного графа - ієрархічної структури, яка розбиває якість на певні групи показників. Відповідно до міжнародного стандарту ІСО 8402 передбачено 10 груп показників якості, які розкладено на підгрупи і т.д., до елементарних властивостей. По кожній групі показників розраховано комплексний показник якості; далі, об'єднавши показники за принципом середньої виваженої, отримаємо інтегральний показник оцінки якості продукції. Обчислена функціональна форма зв'язку між комплексними та елементарними показниками. Комплексні показники є об'єктивними характеристиками якості продукції, тоді як вибір логіки усереднення є суб'єктивним. Розглянуто випадки, якщо параметр логіки усереднення – ціле число (-1; 0; 1; 2). Доведено, що при виборі масштабу шкали аргументу функції бажаності необхідно враховувати медіану відповідного розподілу показника в репрезентативній вибірці зразків продукції, яка досліджується. У рамках запропонованої моделі для трьохрівневого інтегрального показника якості K_Σ ($0 \leq K_\Sigma \leq 1$) одержано наступну формулу

$$K_\Sigma = \prod_{m=1}^p \theta_m(x_m^{kp} - x_m) \prod_{\ell=1}^t \theta_\ell(x_\ell - x_\ell^{kp}) \sum_{i=1}^n q_i \sum_{j=1}^{n^{(i)}} k_j^{(i)} \sum_{s=1}^{n_j} k_{js}^{(i)} x_{ijs}, \quad (25)$$

де $q_i, k_j^{(i)}, k_{js}^{(i)}$ - вагові множники, відповідно, комплексного показника K_i, j підгрупи в i групі, елементарного s показника x_{ijs} ;

$n, n^{(i)}, n_j$ - числа, відповідно, груп властивостей, підгруп в i групі, елементарних показників в j підгрупі;

x_m, x_ℓ - значення елементарного показника, обмеженого нерівністю $x_\ell^{KP} \leq x_\ell; x_m \leq x_m^{KP}$.

Запропонована методика формування інтегрального показника якості продукції дозволяє виявити конкурентні переваги та вузькі місця як в технологічному, так і в економічному аспекті, а також може слугувати схемою оперативного управління системою вихідних (елементарних) показників якості.

Наведено також відомості про здійснені заходи щодо впровадження результатів досліджень в практику харчових і переробних підприємств України. Для досягнення цієї мети було розроблено та затверджено рецептури і технологічні інструкції з приготування нових продуктів харчування – мармеладів, желейних цукерок, тістечок та ін. Економічний ефект практичного впровадження дисертаційної роботи визначається такими чинниками, як зменшення енерговитрат і витрат харчової сировини на виробництво одиниці продукції, скорочення тривалості обробки харчової сировини, зниження матеріалоємності обладнання для переробки сировини за рахунок підвищення ефективності відповідних процесів. Конкретний масштаб економічного ефекту залежатиме від цінової політики підприємств харчування та загальної економічної ситуації в країні. Соціальний ефект практичного впровадження визначається більш повним задоволенням зростаючого попиту населення України на повноцінні та недорогі продукти харчування, що відповідають національним традиціям і смакам. Слід також відзначити екологічне значення підвищення енергоекономічності харчових виробництв.

ВИСНОВКИ

1. На підставі результатів проведеного аналізу літературних даних з проблеми застосування математичних методів при розробці технологічних процесів переробки харчової сировини доведено доцільність поширення цих методів на основні технологічні етапи переробки харчової сировини в напівфабрикати і продукти харчування. Зроблено огляд існуючих методів планування експерименту й обробки його результатів і проілюстрована методика використання цих методів під час розробки деяких процесів харчового виробництва. Наведено наочні приклади реалізації зазначених методів при рішенні конкретних проблем розробки комбінованих продуктів харчування з підвищеною харчовою і біологічною цінністю.

2. Розглянуто основні етапи переробки зернової та насінної рослинної сировини і вимоги до відповідних технологічних процесів. На основі вивчення механізму здрибнювання сировини удосконалено апаратурне оформлення цього процесу і проведено аналіз траєкторій руху частинок сировини в запропонованому апараті. Побудовано математичну модель, яка описує кінетичні закономірності процесу здрибнення зерен і залежність константи швидкості процесу від частоти обертання робочого органа і середнього розміру зерен сировини. Розглянуто закономірності процесу агломерації тонкодисперсних сумішей сухих біополімерів при приготуванні харчових концентратів на основі рослинної сировини.

3. Проаналізовано кінетичні закономірності процесу обрушування зерен і насіння рослинної сировини і побудовано відповідні математичні моделі, на основі яких описуються залежності константи швидкості процесу від частоти обертання робочого органа технологічного апарата для різних видів сировини. Показано, що процес розсіювання тонкодисперсної суміші сухих біополімерів сприяє збагаченню дрібних фракцій цінними поживними і біологічно активними компонентами вихідної харчової сировини. Запропоновано і реалізовано на практиці принцип дії удосконаленого технологічного апарата для обрушування зерен і насіння з регульованою частотою обертання робочих органів, що дозволяє ефективно обробляти різні види сировини.

4. Побудовано математичну модель, яка описує кінетику екстрагування продуктів ферментативного гідролізу крохмалю з зерен сировини із урахуванням внутрішнього перенесення маси – внутрішньої дифузії – екстрактивних речовин у зернах. Визначено константи швидкості для стадій процесу екстрагування – проникнення екстрагента в зерна сировини, ферментативного гідролізу біополімерів, внутрішньої дифузії та перенесення екстрактивних речовин в екстракт – зовнішньої дифузії. Модель придатна до широкого класу процесів масоперенесення, зокрема, до технологічних процесів приготування відварів з рослинної сировини, м'ясних бульйонів і пивного суслу на етапі затирання під час виробництва пива. Запропоновано і впроваджено у виробництво ряд заходів щодо удосконалення пивоварства – заміна частини ячмінного солоду на несолоджене зернове сорго, застосування безупинного протитокового екстрактора на етапі затирання в сполученні з реактором – змішувачем для збільшення тривалості контакту зернової сировини з екстрагентом.

5. Запропоновано прогресивний процес охолодження пива проміжним кремнійорганічним холодоносієм вітчизняного виробництва, який повністю задовольняє комплексу вимог до речовин цього призначення. Проведений теоретичний розгляд дав можливість установити раціональні значення конструктивних параметрів системи охолодження та режиму проведення процесу. Показано також, що запропонований процес є більш енергоекономічним порівняно з існуючими та

характеризується екологічною чистотою, а також забезпечує підвищення надійності та довговічності відповідного устаткування для його реалізації.

6. На основі застосування методів математичного планування багатofакторних екстремальних експериментів обґрунтовано шляхи удосконалення ряду технологічних процесів виробництва комбінованих продуктів на підприємствах харчування і визначено оптимальні умови проведення цих процесів. Зокрема, теоретично обґрунтовано введення різних добавок – альгінату натрію, хлориду кальцію, Na-КМЦ, гліцерину – у раціональних концентраціях під час виробництва желейних блюд з метою підвищення міцності драглів і скорочення витрати драглеутворювачів. Встановлено теоретичні основи поліпшення якості майонезів, очищення олії шляхом її контактування зі спеціальним адсорбентом, виділення білків молока при його змішуванні з сироваткою в раціональному температурному режимі, а також інших технологічних процесів харчових виробництв.

7. Проведено комплексне дослідження показників якості переробленої харчової сировини та нових харчових напівфабрикатів, отриманих на основі застосування методів математичного моделювання. Показано, що при реалізації всіх переваг удосконалених технологічних процесів – досягнення економії енергії і матеріальних ресурсів, скорочення тривалості процесів тощо – забезпечується висока якість продуктів, що, як мінімум, не поступається якості продуктів, виготовлених за відповідними традиційними технологічними процесами.

8. Здійснено комплекс заходів щодо впровадження результатів роботи в технологічну практику підприємств з переробки харчової сировини і підприємств громадського харчування. Дано оцінку економічного та соціального ефектів впровадження, яка оснований на досягненні економії матеріальних і енергетичних витрат і забезпеченні населення України продуктами харчування, що мають високу харчову і біологічну цінність й виявляють багатобічний сприятливий вплив на організм людини.

Список опублікованих праць за темою дисертації

1. Технология переработки продуктов питания с использованием модификаторов: Монография /Перцевой Ф.В., Савгира Ю.А, Фощан А.Л., Гринченко О.А., Пивоваров П.П., Гулий И.С., Тищенко Л.Н., Гарнцарек Б.Ч., Полевич В.В. -Харьков: ХГТУСХ и ХГАТОП, 1998. – 178 с.

2. Коваленко В.И., Полевич В.В., Синекон Н.С. Механизм приготовления отваров из круп //Экономика и технология продовольственных товаров: Сб. науч. тр. – Харьков: ХИОП, 1991. – С. 192-194.

3. Коваленко В.И., Полевич В.В., Якубов Г.М. Исследование процесса обезвоживания частиц растительного сырья с целью получения носителя для сухих завтраков //Технология и качество пищевых продуктов: Сб. науч. тр. – Харьков: ХИОП, 1992. – С. 29-34.

4. Потенциометрическое исследование взаимодействия желатина с некоторыми органическими анионами /И.Н. Фомина, Ф.В. Перцевой, Ю.А.Савгира, В.В. Полевич //Проблемы общественного питания на пути к рынку: Сб. науч. тр. – Харьков: ХИОП, 1993. – С. 128-130.

5. Карпуніна Л.І., Козлов В.М., Перцевий Ф.В., Полевич В.В. Рекомендовано нову технологію //Харчова та переробна промисловість, - 1994. - №5. – С. 22.

6. Пивоваров П.П., Кучерук З.И., Полевич В.В. Характеристика набухания модифицированных яичных гелей //Новые технологии пищевых производств и актуальные проблемы развития торговли и общественного питания: Сб. науч. тр. – Харьков: ХИОП, 1995. – С. 30-32.

7. Фомина И.Н., Перцевой Ф.В., Полевич В.В. Выбор оптимальной концентрации лактата натрия и глицерина для студней желатина //Новые технологии пищевых производств и актуальные проблемы развития торговли и общественного питания: Сб. науч. тр. – Харьков: ХГАТОП, 1995. – С. 151 – 153.

8. Теймурова О.Н., Перцевой Ф.В., Полевич В.В. Оптимизация концентраций модифицирующих композиций для гелеобразных структур агароида и фуцелларана //Новые технологии пищевых производств и актуальные проблемы развития торговли и общественного питания: Сб. науч. тр. – Харьков: ХГАТОП, 1995. – С. 22-25.

9. Пивоваров П.П., Полевич В.В., Хацкевич Ю.Н. Исследование структурно-механических свойств белково-жировых эмульсий //Новые технологии пищевых производств и актуальные проблемы развития торговли и общественного питания: Сб. науч. тр. – Харьков: ХГАТОП, 1995. – С. 140-141.

10. Хацкевич Ю.Н., Журавлев С.В., Полевич В.В. Исследование эмульгирующих свойств белковой молочной сыворотки //Новые технологии пищевых производств и актуальные проблемы развития торговли и общественного питания: Сб. науч. тр. – Харьков: ХГАТОП, 1995. – С. 138-140.

11. Заика И.В., Коваленко В.И., Полевич В.В. Технологический аппарат для получения порошкообразных продуктов из различных видов зернового сырья //Актуальні науково-методичні проблеми в підготовці спеціалістів вищої кваліфікації для торгівлі і харчування: Зб. наук. пр. – Ч. I. –Харків: ХДАТОХ, 1997. – С. 194-196.

12. Коваленко В.И., Отасовие В., Полевич В.В. Производство пива с использованием сорго в качестве несоложенного сырья //Актуальні науково-методичні проблеми в підготовці спеціалістів вищої кваліфікації для торгівлі і харчування: Зб. наук. пр. – Ч. I. –Харків: ХДАТОХ, 1997. – С. 389-392.

13. Федак Н.В., Шильман Л.З., Полевич В.В. Оптимизация параметров технологического процесса очистки термообработанного подсолнечного масла с применением пальгорскита //Актуальні науково-методичні проблеми в підготовці спеціалістів вищої кваліфікації для торгівлі і харчування: Зб. наук. пр. – Ч. I. –Харків: ХДАТОХ, 1997. – С. 175-177.

14. Черевко А.И., Коваленко Р.Г., Полевич В.В. Получение ароматизаторов из растительного сырья //Прогресивні ресурсозберігаючі технології та їх економічна обґрунтованість у підприємствах харчування. Економічні проблеми торгівлі: Зб. наук. пр. – Ч. II. –Харків: ХДАТОХ, 1998. – С. 175-177.

15. Черевко А.И., Полевич В.В., Коваленко Р.Г. Перспективы использования ароматизаторов на основе эфирных масел //Прогресивні ресурсозберігаючі технології та їх економічна обґрунтованість у підприємствах харчування. Економічні проблеми торгівлі: Зб. наук. пр. – Ч. II. –Харків: ХДАТОХ, 1998. – С.234-237.

16. Черевко О.І., Коваленко Р.Г., Полевич В.В. Аналіз існуючого екстракційного обладнання та обґрунтування вибору типу екстрактора //Прогресивні технології та удосконалення процесів харчових виробництв: Зб. наук. пр. – Ч. 2. – Харків: ХДАТОХ, 2000. – С. 3-7.

17. Полевич В.В. Математичне моделювання процесу одержання концентрату з сухих біополімерів //Прогресивні технології та удосконалення процесів харчових виробництв: Зб. наук. пр. - Харків: ХДАТОХ, 2000. – С. 285-291.

18. Отасовіс В.Е., Полевич В.В. Дослідження впливу окремих груп ферментів на характеристики пивного суслу //Прогресивні технології та удосконалення процесів харчових виробництв: Зб. наук. пр. – Частина 1. – Харків: ХДАТОХ, 2000.- С.324–325 .

19. Полевич В.В. Дослідження кінетичних закономірностей процесу обрушування зерен і насіння //Вестник Национального технического университета “ХПИ”. – Вып.18. - Харьков, 2001. – С. 138-142.

20. Полевич В.В. Дослідження закономірностей процесу розсіювання тонкодисперсних сумішей сухих біополімерів //Інтегровані технології та енергозбереження. – 2001. - № 2. – С. 58-62.

21. Полевич В.В. Математична модель процесу приготування відварів із зернової сировини //Вісник ДонДУЕТ, серія “Технічні науки”. – № 1(9). – Донецьк, 2001. – С.184-188.

22. Полевич В.В. Удосконалення процесу виробництва пива з використанням нетрадиційних видів зернової сировини та прогресивного обладнання на етапі затирання //Вопросы химии и химической технологии. - 2001.–№ 4. – С. 112-115.

23. Полевич В.В. Концепція розробки нового апарата для охолодження пива //Проблеми криобиології. - 2001. - №1. – С. 88-90.

24. Полевич В.В. Основи теплового та гідравлічного розрахунку нового апарата для охолодження пива //Тематич. збірн. наук. праць ДДУЕТ “Обладнання та технології харчових виробництв”. – Вип. 6. - Донецьк, 2001.- С. 104-107.

25. Полевич В.В. Математичне моделювання процесу отримання емульсії //Вестник Национального технического университета “ХПИ”. – Вып. 6. - Харьков, 2001. – С. 194-196.

26. Полевич В.В. Особливості оцінки інтегрального показника якості харчових виробів //Інтегровані технології та енергозбереження. – 2001.-№ 4.– С. 47-52

27. Влияние рецептурных компонентов жележных изделий на упрочняющее действие добавок ксампана и полимиксана /М.В. Артамонова, Г.М. Лисюк, О.В.Самохвалова, В.В. Полевич //Вестник Национального технического университета “ХПИ”. – Вып. 19. - Харьков, 2001. – С. 87-93.

28. Полевич В.В. Моделювання процесу агломерації при одержанні харчових концентратів із зернової сировини //Вісник інженерної академії України. – №3 (ч. 2). - Київ, 2001. – С. 303-306.

29. Малюк Л.П., Давыдова О.Ю., Полевич В.В. Влияние ароматического сырья на полифенолы косточковых плодов //Вісник ХДТУСГ “Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних та харчових виробництв”. – Вип. 5. – Харків, 2001. – С. 34-40.

30. Полевич В.В. Наукові основи удосконалення процесу обрушування зернової сировини //Вестник Национального технического университета “ХПИ”. – Вып. 3. - Харьков, 2001. – С. 154-158.

31. Коваленко Р.Г., Черевко О.І., Полевич В.В. Дослідження властивостей нетрадиційної рослинної сировини для виробництва ароматизаторів. //Вестник Национального технического университета “ХПИ”. – Вып. 20.- Харьков, 2001. – С.36-40.

32. Дюкарева Г.І., Полевич В.В. Оптимізація процесу піноутворення копреципітату //Вопросы химии и химической технологии. - 2001. – № 6. – С. 64-66.

33. Пат. 24540А Україна, МПК А23L 1/06. Спосіб одержання пастилі /Ф.В.Перцевий, Ю.О. Савгіра, Л.Г. Овсяннікова, Л.М. Тіщенко, В.В. Полевич, Б.Ч.Гарнцарек, Т.К. Перцева, Т.Н. Іванюк. - № 97063258; Заявл. 27.06.97; Опубл. 21.07.98, Бюл. № 5 – 3 с.

34. Пат. 24545 А Україна, МПК А23L 1/06. Спосіб виробництва жележного мармеладу /Ф.В. Перцевий, Л.Г. Овсяннікова, Л.М. Тіщенко, В.В. Полевич, Б.Ч. Гарнцарек, Ю.О. Савгіра. - № 97063265; Заявл. 27.06.97; Опубл. 21.07.98, Бюл. № 5. – 3 с.

35. Пат. 24522 А Україна, МПК А23L 1/06. Спосіб виробництва жележного мармеладу / Ф.В. Перцевий, Л.Г. Овсяннікова, Ю.О. Савгіра, Л.М. Тіщенко, В.В. Полевич, Б.Ч. Гарнцарек. - № 97063256; Заявл. 27.06.97; Опубл. 30.10.98, Бюл. № 5. – 2 с.

36. Пат. 24541А Україна, МПК А23L 1/06. Спосіб одержання пастилі /Ф.В.Перцевий, Л.М. Тіщенко, Б.Ч. Гарнцарек, Л.Г. Овсяннікова, В.В. Полевич, Ю.О.Савгіра. - № 97063257; Заявл. 27.06.97; Опубл. 30.10.98, Бюл. № 5.- 4 с.

37. Пат. 24546А Україна, МПК А23L 1/06. Спосіб одержання пастилі /Ф.В.Перцевий, Л.Г. Овсяннікова, Б.Ч. Гарнцарек, В.В. Полевич, Л.М. Тіщенко, Ю.О.Савгіра. - №97063264; Заявл. 27.06.97; Опубл. 30.10.98, Бюл.№ 5. – 3 с.

38. Деклараційний пат. 33281А Україна, МКВ А23L 1/24. Харчова емульсія /Н.В.Камсуліна, Ю.О. Савгіра, Н.В. Федак, В.В. Полевич, Б.Ч.Гарнцарек, Л.М. Тіщенко, Т.К. Перцевая, О.В. Богомолів, Ф.В. Перцевий. - №99020681; Заявл. 08.02.1999; Опубл. 15.02.2001, Бюл. №1. – 5 с.

39. Деклараційний пат. 33282А Україна, МКВ А21D 13/08. Спосіб одержання шоколадно-желейного торту /Т.В. Холод, А.Л. Фощан, Ф.В. Перцевий, Т.К.Перцева, Ю.О. Савгіра, Л.М. Тіщенко, В.В. Полевич, О.В. Богомолів, Б.Ч. Гарнцарек.- № 99020682; Заявл.08.02.1999; Опубл.15.02.2001, Бюл. № 1. – 5 с.

40. Деклараційний пат. 33283А Україна, МКВ А23L 1/05. Спосіб підвищення міцності драглів сульфатованих полісахаридів /Т.В. Холод, А.Л. Фощан, Ф.В.Перцевий, Ю.О. Савгіра, Л.М. Тіщенко, В.В. Полевич, Б.Ч. Гарнцарек. - №99020683; Заявл. 08.02.1999; Опубл. 15.02.2001, Бюл. № 1. – 5 с.

41. Деклараційний пат. 33280А Україна, МКВ А23D 9/00, А23D 9/02. Спосіб одержання забарвленої олії /Н.В. Камсуліна, Н.В. Федак, О.В. Богомолів, Б.Ч.Гарнцарек, Л.М. Тіщенко, В.В. Полевич, Ф.В. Перцевий, Ю.О. Савгіра. - № 99020680; Заявл. 08.02.1999; Опубл. 15.02.2001, Бюл. №1. – 5 с.

42. Деклараційний пат. 36479А Україна, МКВ А 21D 13/08. Спосіб одержання бісквітного напівфабрикату /О.М. Сафонова, Ю.В. Чудік, Ф.В. Перцевий, О.О.Богомолів, І.А. Панченко, Ю.О. Савгіра, Л.М. Тіщенко, В.В.Полевич, Б.Ч.Гарнцарек. - № 99127053; Заявл. 24.12.1999; Опубл. 16.04.2001, Бюл. №3. – 4 с.

43. Деклараційний пат. 36480А Україна, МКВ А 21D 13/08. Спосіб одержання пісочного напівфабрикату /О.М. Сафонова, Ю.В. Чудік, Ф.В. Перцевий, О.О.Богомолів, Ю.О.Савгіра, Л.М. Тіщенко, В.В.Полевич, Б.Ч. Гарнцарек. - № 99127054; Заявл. 24.12.1999; Опубл.16.04.2001, Бюл.№3. – 3 с.

44. Коваленко В.И., Полевич В.В., Голубева Н.Я. Исследование технологии и аппаратурного оформление процесса получения сухих пищевых продуктов //Тез. докл. респ. науч. конф. “Пути коренного улучшения продовольственного обеспечения в новых условиях хозяйствования”. – Секция 2. Часть II. – Киев: РНТЦП. - 1990. – С. 71-72.

45. Коваленко В.И., Полевич В.В., Голубева Н.Я. Индустриальная переработка растительного сырья для нужд общественного питания //Тез. докл. респ. науч. конф. “Пути коренного улучшения продовольственного обеспечения в новых условиях хозяйствования”. –Секция 2.Часть II. – Киев: РНТЦП. - 1990.-С. 73-74.

46. Новый полуфабрикат для жележных изделий /Ф.В. Перцевой, И.Н. Фомина, В.В. Полевич, П.П. Пивоваров //Тез. докл. 3-го науч. техн. сем. “Электротехнология пектиновых веществ”:- Киев, 1992. – С. 26-27.

47. Изучение температуры застудневания агароида в присутствии многоатомных спиртов /Ф.В. Перцевой, О.Н. Теймурова, Ю.А. Савгира, В.В. Полевич //Тез. докл. 3 науч.-техн. семинара “Электротехнология пектиновых веществ”.- Киев, 1992. - С.27-28.

48. Исследование температуры застудневания и плавления студня желатина в присутствии глицерина и солей органических кислот /И.Н. Фомина, Ф.В.Перцевой, Ю.А. Савгира, В.В. Полевич //Тез. докл. 4 науч.-техн. семинара “Электротехнология пектиновых веществ. – Киев, 1993.-С. 60.

49. Голубева Н.Я., Полевич В.В., Коваленко В.И. Количественное описание качества продукта в общественном питании // Сб. статей науч.-практ. конф. “Новое в использовании студнеобразователей при производстве кондитерских и кулинарных изделий”.- Харьков: ХИОП, 1994. – С. 63-66.

50. Голубева Н.Я., Полевич В.В., Коваленко В.И. К вопросу об интенсификации процесса структурообразования неньютоновских систем //Сб. статей науч.-практ. конф. “Новое в использовании студнеобразователей при производстве кондитерских и кулинарных изделий”. – Харьков: ХИОП, 1994. – С. 11-13.

51. Голубева Н.Я., Полевич В.В., Коваленко В.И. Полунепрерывная экстракция на предприятиях общественного питания и в кондитерском производстве //Сб. статей науч.-практ. конф. “Новое в использовании студнеобразователей при производстве кондитерских и кулинарных изделий”. – Харьков: ХИОП, 1994. – С. 68-70.

52. Моделирование процесса получения молочно-белковой массы для кулинарных изделий с использованием модифицированного желатина /Л.И.Карпунина, В.Н.Козлов, Ф.В. Перцевой, В.В. Полевич //Сб. статей науч.-практ. конф. “Новое в использовании студнеобразователей при производстве кондитерских и кулинарных изделий”. – Харьков: ХИОП, 1994. – С. 66-68.

53. Применение глицерина и натрий–карбоксиметилцеллюлозы в производстве мучных кулинарных изделий из дрожжевого теста /Г.Е.Абдрахманова, Г.М.Лисюк, В.В. Полевич, Ф.В. Перцевой //Сб. статей науч.-практ. конф. “Новое в использовании студнеобразователей при производстве кондитерских и кулинарных изделий”. – Харьков: ХИОП, 1994. – С. 28-30.

54. Пивоваров П.П., Хацкевич Ю.Н., Полевич В.В. Исследование прочности криогелей //Материалы междунар. науч.-практ. конф. “Потребительская кооперация в переходный период: проблемы и перспективы”.- Ч. 2. – Полтава, 1995. - С. 17.

55. Теймурова О.Н., Полевич В.В. Оптимизация рецептур желейных кондитерских изделий //Матер. междунар. науч.-практ. конф. “Потребительская кооперация в переходный период: проблемы и перспективы”. – Ч. 2. – Полтава, 1995. – С. 19.

56. Перцевой Ф.В., Полевич В.В. Новое направление путей сокращения расхода гелеобразователей //Матер. междунар. науч.-практ. конф. “Потребительская кооперация в переходный период: проблемы и перспективы”. – Ч. 2.– Полтава; ПКИ - 1995. – С. 20

57. Багатоцільове обладнання для переробки рослинної сировини /В.І.Коваленко, В.В. Полевич, Н.Я. Голубева, І.В. Заїка //Тези доп. наук.-практ. конфер. “Стан і проблеми торгівлі й харчування в Україні”. – Харків: ХДАТОХ, 1997. – С. 58-59.

58. Комплексні драгли з використанням альгінату натрію /Ф.В. Перцевий, Л.Г.Овсяннікова, Ю.О. Савгіра, В.В. Полевич //Тези доп. наук.-практ. конфер. “Стан і проблеми торгівлі й харчування в Україні”. – Харків: ХДАТОХ, 1997. – С. 5-6.

59. Многоцелевая машина для переработки зернового сырья /Н.Я. Голубева, И.В.Заика, В.М. Коваленко, В.В. Полевич //Зб. пр. наук.-практ. конф. “Підприємства і цехи малої потужності для переробки сільськогосподарської сировини: ефективність і особливості організації”. – Полтава: ПКІ. - 1998. – С. 214-221.

60. Коваленко В.И., Отасовие В., Полевич В.В. Производство пива с использованием сорго в качестве несоложеного сырья // Зб. пр. наук.-практ. конф. “Підприємства і цехи малої потужності для переробки сільськогосподарської сировини: ефективність і особливості організації”. – Полтава: ПКІ. - 1998. – С.143-147.

61. Влияние способа подготовки сырья на экстрагирование каротиноидов /Перцевой Ф.В., Савгира Ю.А., Полевич В.В., Федак Н.В., Камсулина Н.В. //Матер. міжнар. наук.-практ. конф. “Проблеми якості у громадському харчуванні, готельному господарстві і туризмі”.- Київ: КДТЕУ, 1998. – С. 164-166.

62. Полевич В.В. Аналіз траєкторії руху часток сировини в багатоцільовому апараті для переробки зернової сировини //Труды Междунар. научно-практ. конф. “Научные и практические аспекты переработки мяса и мясопродуктов”. – Харьков: ХГАТОП, 2001. – С. 167-168.

АНОТАЦІЯ

Полевич В.В. Моделювання технологічних процесів і розробка прогресивного обладнання для переробки харчової сировини. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв – Харківська державна академія технології та організації харчування Міністерства освіти і науки України, Харків, 2002.

Дисертацію присвячено питанням розробки математичних моделей технологічних процесів переробки харчової сировини у напівфабрикати і готові кулінарні вироби, а також створення на цій теоретичній основі прогресивних технологічних процесів і обладнання для їх реалізації. Розроблена загальна методологія створення прогресивних технологічних процесів і вдосконаленого обладнання для переробки зернової рослинної сировини, а також окремих етапів цих процесів. Побудовано математичні моделі одержання концентрату сухих біополімерів, агломерації під час

приготування харчових концентратів із зернової сировини, виходу екстрактивних речовин із частинок сировини, отримання відварів із зернової сировини, процесу напівбезперервної екстракції в харчовій технології, а також кінетики процесів обрушування зерен і насіння та екстрагування частинок сировини. Запропоновано вдосконалене обладнання для первинної обробки зернової сировини і приготування й охолодження пива. Результати праці знайшли практичне впровадження на багатьох переробних і харчових підприємствах України.

Ключові слова: харчова сировина, процеси переробки, математичне моделювання, удосконалення процесів, розробка обладнання.

АННОТАЦІЯ

Полевич В.В. Моделирование технологических процессов и разработка прогрессивного оборудования для переработки пищевого сырья. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.18.12 – процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических производств. – Харьковская государственная академия технологии и организации питания Министерства образования и науки Украины, Харьков, 2002.

Диссертация посвящена вопросам разработки математических моделей технологических процессов переработки пищевого сырья в полуфабрикаты и готовые кулинарные изделия, а также создания на этой теоретической основе прогрессивных технологических процессов и оборудования для их реализации. На основании результатов проведенного анализа литературных данных по проблеме применения математических методов при разработке технологических процессов переработки пищевого сырья сделан вывод о целесообразности распространения этих методов на все основные технологические этапы переработки сырья в полуфабрикаты и продукты питания.

Сделан обзор существующих методов планирования эксперимента и обработки его результатов и проиллюстрирована методика применения этих методов при разработке некоторых процессов пищевого производства. Приведены наглядные примеры реализации указанных методов при решении конкретных проблем разработки комбинированных продуктов питания с повышенной пищевой и биологической ценностью. Рассмотрены основные этапы переработки зернового и семенного растительного сырья и требования к соответствующим технологическим процессам. На основе изучения процесса измельчения сырья предложено усовершенствованное аппаратное оформление этого процесса и сделан анализ траекторий движения частиц сырья в аппарате.

Построена математическая модель, описывающая кинетические закономерности процесса измельчения зерен и зависимость константы скорости процесса от частоты вращения рабочего органа и среднего размера частиц сырья. Рассмотрены закономерности агломерации тонкодисперсных смесей сухих биополимеров при приготовлении пищевых концентратов на

основе растительного сырья. Проанализированы кинетические закономерности процесса обрушивания зерен и семян растительного сырья и построены соответствующие математические модели, на основе которых описываются зависимости константы скорости процесса от частоты вращения рабочего органа технологического аппарата для различных видов сырья. Показано, что процесс рассеивания тонкодисперсной смеси сухих биополимеров благоприятствует обогащению мелких фракций ценными питательными и биологически активными компонентами исходного пищевого сырья.

Предложен принцип действия усовершенствованного технологического аппарата для обрушивания зерен и семян с регулируемой частотой вращения рабочего органа, что позволяет эффективно обрабатывать различные виды сырья. Построена математическая модель, описывающая кинетику экстрагирования продуктов ферментативного гидролиза крахмала из зерен сырья с учетом внутреннего массопереноса – внутренней диффузии – экстрактивных веществ в зернах. Определены константы скорости для стадий экстрагирования – проникновения экстрагента в зерна сырья, ферментативного гидролиза биополимеров, внутренней диффузии и переноса экстрактивных веществ в экстракт – внешней диффузии. Модель применима к широкому классу процессов массопереноса, в частности, технологических процессов приготовления отваров из растительного сырья, мясных бульонов и пивного сусла на этапе затирания при производстве пива. Предложен ряд мероприятий по усовершенствованию пивоваренного производства – замена ячменного солода на несоложеное зерновое сорго, применение непрерывного противоточного экстрактора на этапе затирания в сочетании с реактором – смесителем для увеличения длительности контакта зернового сырья с экстрагентом.

Предложен прогрессивный процесс охлаждения пива промежуточным кремнийорганическим хладоносителем отечественного производства, который удовлетворяет практически всему комплексу требований к веществам этого назначения. Проведенное теоретическое рассмотрение дало возможность установить рациональные значения конструктивных параметров системы охлаждения и режима ведения процесса. Показано также, что предложенный процесс является более энергоэкономичным по сравнению с существующими и характеризуется экологической чистотой, а также обеспечивает повышение надежности и долговечности соответствующего оборудования для его реализации. На основе применения методов математического планирования многофакторных экстремальных экспериментов обосновано совершенствование ряда технологических процессов производства комбинированных продуктов на предприятиях питания и определены оптимальные условия ведения этих процессов. В частности, теоретически обосновано введение различных добавок – альгината натрия, хлорида кальция, Na – КМЦ, глицерина – в рациональных количествах с целью повышения прочности

желатиновых, агаровых и других студней при производстве жележных блюд и сокращения расхода студнеобразователя.

Установлены теоретические основы улучшения качества майонезов путем добавления окрашенного каротиноидного масла, очищения растительного масла путем его контактирования со специальным адсорбентом и других технологических процессов пищевых продуктов. Проведено комплексное исследование показателей качества переработанного пищевого сырья и новых пищевых полуфабрикатов, полученных с применением методов математического моделирования. Показано, что при реализации всех преимуществ усовершенствованных технологических процессов качество продуктов не ухудшается в сравнении с приготовленными по традиционным технологиям. Результаты работы нашли практическое внедрение на ряде перерабатывающих и пищевых предприятий Украины.

Ключевые слова: пищевое сырье, процессы переработки, математическое моделирование, усовершенствование процессов, разработка оборудования.

ANNOTATION

Polevych V.V. The modelling of technological processes and elaboration of progressive equipment for processing of food raw materials.- Manuscript.

Thesis for doctor's degree by speciality 05.18.12 – processes and equipment for food, microbiological and pharmaceutical production.- Kharkiv State Academy of Food Technology and Management of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2002.

The dissertation is devoted to the topics of elaborating the mathematical models for the technological processes of processing the food raw material in prepared food and ready culinary products and also creating on this ground the progressive technological processes and equipment for their realization. The general methodology of elaborating the progressive technological processes and improved equipment for the processing of grain vegetable raw materials and also separate stages of these. The mathematical models are built for obtaining the concentrate of dry biopolymers, agglomerating by the preparation of food raw material particles, obtaining the broths from grain raw materials, the process of semi-continuous extraction in food technology, and also the kinetics. The improved equipment is proposed for primary processing of grain raw materials and preparing and cooling the beer. The results of the work have found a practical utility at many processing and food enterprises in Ukraine.

Key words: food raw materials, processing, mathematical modelling, improving the processes, elaborating of equipment.

Автор висловлює подяку д.т.н., професору кафедри процесів, апаратів та автоматизації харчових виробництв **Коваленку Віктору Івановичу** за допомогу, що була надана під час виконання цієї дисертаційної роботи.

Підп. до друку 30.05.2002р. Формат 60x84 1/16. Папір офсет. Друк офсет.
Обл.-вид. арк. 2,0. Ум. друк. арк. 2,1.
Тираж 100 прим. Зам. № 173

ДОД Харківської державної академії технології та організації харчування
61051, Харків-51, вул. Клочківська, 333