

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

НЄМІРІЧ ОЛЕКСАНДРА ВОЛОДИМИРІВНА

УДК 641.53.094:001.89

**НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА РОЗРОБЛЕННЯ
ТЕХНОЛОГІЙ СУШЕНОЇ ХАРЧОВОЇ ПРОДУКЦІЇ
І ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ З ЇЇ ВИКОРИСТАННЯМ**

Спеціальність 05.18.16 – Технологія харчової продукції

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Київ – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті харчових технологій Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант доктор технічних наук, професор
Погожих Микола Іванович,
Харківський державний університет харчування
та торгівлі,
завідувач кафедри фізико-математичних
та інженерно-технічних дисциплін

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Юдіна Тетяна Іллівна,
Київський національний
торгівельно-економічний університет,
професор кафедри технології
і організації ресторанного господарства

доктор технічних наук, професор
Капліна Тетяна Вікторівна,
Полтавський університет економіки і торгівлі,
завідувач кафедри
готельно-ресторанної та курортної справи

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

Захист відбудеться «20 червня» 2019 року о 10³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.058.07 Національного університету харчових технологій за адресою: вул. Володимирська, 68, м. Київ, 01601, аудиторія А–311.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного університету харчових технологій за адресою: вул. Володимирська, 68, м. Київ, 01601.

Автореферат розісланий «20» травня 2019 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Білик О.А.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Обґрунтування вибору теми дослідження. Основними проблематичними позиціями ефективності функціонування підприємств харчових галузей та закладів ресторанного господарства в сучасних ринкових умовах України є: *ресурсозберігаюча; енергозберігаюча; соціальна; економічна; конкурентоспроможність; стратегічна.*

Сучасні проблеми харчових технологій в Україні вирішуються, в основному, коригуванням фондо-, ресурс- та енергоємності, але, на наш погляд, повинні бути вирішені за розроблення інноваційних наукоємних технологій з очікуваною доданою вартістю харчових продуктів, які забезпечать інвестиційну привабливість довгострокових проектів, що є показниками стабільності економіки та її безпеки. Одночасний аналіз і вирішення даних проблем дозволяє сформулювати напрями залучення до технологічних потоків сушеної харчової продукції (СХП), що є, з фізіологічної точки зору, концентратом усіх необхідних для організму людини нутрієнтів, а за технологічним призначенням, – напівфабрикатами високого ступеня готовності.

Розробками вітчизняних та зарубіжних науковців, зокрема, М. І. Погожих, В. В. Євлаш, Н. К. Журавською, Ю. Ф. Снежкіним, Е. Й. Гуйго, С. П. Гуляєвим, Ж. О. Петровою, П. П. Пивоваровим, А. М. Дорохович, V. Orsat, M. Aversa, C. Ertekin та ін. підтверджено актуальність виробництва СХП як самостійних продуктів, а також використання її в технологіях харчових продуктів як рецептурної сировини і напівфабрикатів.

В Україні функціонують декілька підприємств з виробництва СХП. Проте обсяги її виробництва і асортимент, що випускається, незначно залучаються до технологічних потоків харчової промисловості та закладів ресторанного господарства. Крім того, запропоновані способи сушіння є енергоємними та тривалими, технологічні властивості кінцевої продукції не завжди дозволяють широко використовувати її в технологіях харчових продуктів, а функціонально-технологічний потенціал недостатньо вивчений.

Таким чином, розроблення науково обґрунтованих технологій СХП та харчових продуктів з її використанням є актуальною науково-технічною та практичною проблемою.

У зв'язку з цим сформульовано наукову концепцію роботи: сформований в ході сушіння функціонально-технологічний потенціал СХП – здатність до диспергування, гідратаційна, жирутримуюча, емульгуюча здатності, число аромату, стійкість при зберіганні, – який зумовлений фізико-хімічними і колоїдними властивостями, є основою удосконалення й розроблення інноваційних наукоємних харчових технологій, розширення асортименту харчових продуктів, що дозволяє адаптувати технології для різних умов виробництва (підприємства харчової промисловості, заклади ресторанного господарства, в т. ч. бістро, а також побутові і спеціальні виробничі умови) з отриманням доданої вартості.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконана згідно з планами науково-дослідних робіт ХДУХТ за темами: № 1-08БО «Теоретичні основи технологій дієтичних добавок, продуктів оздоровчого харчування з вторинної м'ясної сировини» (номер державної реєстрації 0108U001333); № 09-11-12Б «Розробка технологій харчових продуктів на основі сушених напівфабрикатів» (0110U006620); № 23-12Д «Розробка технології кулінарних виробів з використанням сушеної сировини тваринного та рослинного походження»; кафедри експертизи харчових продуктів НУХТ за держбюджетною темою № 09-П-988 «Формування та оцінка якості та безпечності інноваційних харчових продуктів» (0113U001429); кафедри технології харчування та ресторанного бізнесу НУХТ за темою «Технологія харчової продукції ресторанного господарства оздоровчого призначення» (0112U006491); кафедри технології ресторанної і аюрведичної продукції НУХТ за темою «Розроблення технологій ресторанної і аюрведичної кулінарної продукції з використанням поліфункціональних напівфабрикатів і інноваційних інгредієнтів» (0117U003716).

Мета і завдання досліджень. Метою роботи є наукове обґрунтування та розроблення технологій сушеної харчової продукції і реалізація її сформованого функціонально-технологічного потенціалу в технологіях харчових продуктів.

Завдання дослідження:

- провести аналіз формування функціонально-технологічних властивостей СХП за різних способів сушіння;
- обґрунтувати і довести наукову концепцію щодо широкого залучення СХП до технологічних потоків харчової промисловості та закладів ресторанного господарства, що передбачає формування і використання її функціонально-технологічного потенціалу;
- обґрунтувати асортимент СХП, яка в ході залучення до інноваційних технологічних потоків виробництва харчових продуктів вирішує проблеми ресурсозбереження та державних запасів країни;
- дослідити вплив режимів ЗТП-сушіння на перетворення структури біополімерів СХП;
- визначити стан та структуру водної фази в СХП;
- визначити здатність до диспергування СХП до грубодисперсної та мікрогетерогенної фаз;
- дослідити процеси змочування та просочування СХП полярними і неполярними рідинами, що визначає її поведінку в харчових системах;
- здійснити комплексні дослідження сформованої капілярно-пористої структури СХП;
- розробити концептуальну модель формування функціонально-технологічних властивостей СХП за використання ЗТП-сушіння;
- визначити раціональні умови зберігання СХП;
- розробити науково обґрунтовані рекомендації з виробництва СХП;
- запровадити комплексний підхід та практичну реалізацію сформованих

функціонально-технологічних властивостей СХП в технологіях харчових продуктів;

– обґрунтувати методологію оцінювання економіко-технологічного потенціалу наукової розробки інноваційних технологій харчових продуктів з використанням СХП.

Об'єкт дослідження – технології СХП і харчових продуктів з її використанням.

Предмет дослідження – капуста, кабачки, топінамбур, морква свіжі, яловичина відварена на парі, паста з крові великої рогатої худоби (ВРХ) та сушеними плодами шипшини, СХП, модельні системи з СХП, традиційні і інноваційні харчові продукти.

Методи досліджень – хімічні, фізичні, фізико-хімічні, біохімічні, мікробіологічні, реологічні, органолептичні, математичне моделювання, виконані з використанням сучасних приладів та інформаційних технологій.

Наукова новизна одержаних результатів. Сформульовано і підтверджено наукову концепцію роботи щодо формування універсального функціонально-технологічного потенціалу СХП, що є основою для розроблення, удосконалення технологій, моделювання та проектування рецептурного складу харчових продуктів за групами та видами з її використанням або при взаємозамінності інгредієнтів на СХП.

При цьому:

– розроблено технологію СХП при використанні сушіння зі змішаним теплопідведенням (ЗТП-сушіння);

– встановлено закономірності формування регідратаційних властивостей СХП залежно від режимів ЗТП-сушіння;

– рентгеноструктурним аналізом доведено, що за раціональних режимів ЗТП-сушіння відбуваються мінімальні перетворення полісахаридів овочевої СХП, максимальне збереження мікроструктури її тканин;

– дослідженням порушення повного внутрішнього відбиття (ІЧ-спектри) встановлено, що при відновленні СХП зростає доступність її складових до розчинника, сприяючи вилученню екстрактивних сполук, у тому числі ароматоутворюючих. У смугах відбиття органічних речовин м'ясної сировини змін не виявлено, тобто відновлення сушеного м'ясного напівфабрикату (СМН) та розробленої дієтичної добавки (ДД) «Редгем» залежить лише від температури та полярності змочувальної рідини;

– вперше, за даними термогравіметричного аналізу, доведено, що ЗТП-сушіння сприяє формуванню частинок СХП з розвиненими поровим простором і поверхнею їх взаємодії та розподілу водної фази з високою енергією зв'язку гідратаційних полі- та мономолекулярних шарів у структурі;

– визначено кореляцію між структурними характеристиками СХП – розподілом пор за радіусом, сорбційним об'ємом пор, питомою поверхнею зразка – і температурними режимами ЗТП-сушіння, що дозволяє науково обґрунтувати ефективність реалізації ощадних режимів процесу сушіння;

– доведено, що для гідрофобних частинок твердого тіла СМН і ДД «Редгем» інтенсивність адсорбування рідини є в 1,5...2,0 рази меншою, ніж для твердих тіл полісахаридної природи овочевої СХП, в якій явище змочування є комбінацією змочування–просочування.

За концепцією роботи складено та проаналізовано регресійні моделі формування функціонально-технологічних властивостей СХП (коефіцієнта водопоглинання, вологоутримуючої, жирутримуючої, емульгуючої здатностей, агрегативної стійкості, числа аромату, кількості гемового заліза) залежно від температури ЗТП-сушіння, розміру частинок СХП, за якими оптимізовано комплексні показники СХП за даними властивостями; надано їх призначення для різних дисперсних систем.

Запропоновано комплексне залучення СХП як напівфабрикатів високого ступеня готовності, так і інгредієнтів з заданими функціонально-технологічними властивостями до технологічних потоків виробництва харчових продуктів, що показано на прикладах реалізації технологій млинчиків-напівфабрикату (оболонки) та масляних сумішей солоних з овочевою СХП; соусів гарячих з СМН; кексів антианемічного спрямування з ДД «Редгем».

Встановлено, що седиментаційна стабільність, в'язкість тістових систем зумовлені здатністю до набухання біополімерів СХП з капусти, кабачків, топінамбура, що поряд з підвищенням харчової цінності надає борошняній страві високих функціонально-технологічних показників.

Методом мікроструктурного аналізу і диференційної скануючої калориметрії встановлено взаємодію компонентів овочевої СХП з жирною та водною фазами, формування агломератів з комірчастою будовою, особливості процесів перекристалізації та диференціації груп легкоплавких і середньоплавких гліцеридів у кристалічній жировій фазі масляної суміші при додаванні овочевої СХП і кунжуту.

Встановлено, що підвищення дисперсності частинок СМН збільшує величини граничного напруження зсуву та ефективної в'язкості гарячих соусів.

Встановлено поверхневі взаємодії частинок ДД «Редгем» з поверхнево-активною речовиною (ефіром лимонної кислоти, моно-, дигліцеридом жирних кислот), яка створює оболонку, що щільно огортає частинку і сприяє утворенню енергетично найбільш «вигідної» для взаємодії кулеподібної форми.

Визначено раціональні технологічні параметри та режими технологічних процесів виробництва окремих видів харчових продуктів з СХП.

За методологією оцінювання економічного ефекту наукової розробки доведено ефективність створення технологічного потоку виробництва харчових продуктів з використанням СХП.

Подальшого розвитку в роботі набуло впровадження теоретичних та практичних аспектів отримання СХП тваринного і рослинного походження за використання ЗТП-сушіння.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується їх перевіркою з використанням сучасних

методів досліджень, математично-статистичною обробкою із застосуванням комп'ютерних технологій. Наукові положення та рекомендації підтверджені лабораторними дослідженнями та виробничими випробуваннями.

Наукове значення роботи. На підставі виконаних автором теоретичних і експериментальних досліджень науково обґрунтовано формування функціонально-технологічного потенціалу СХП за використання ЗТП-сушіння для широкого її залучення до наукоємних технологічних потоків харчових продуктів з гарантованою доданою вартістю.

Практичне значення одержаних результатів. Практична цінність роботи полягає у формуванні функціонально-технологічних властивостей СХП в ході технологічного процесу виробництва, що дозволило розробити, удосконалити, інтенсифікувати і адаптувати технології харчових продуктів широкого асортименту з її використанням для різних умов і потужностей підприємств (4 патенти України на винахід; 7 на корисну модель). Розроблено нормативну документацію: ТУ У 15.1-01566330-229:2014 «Сушений м'ясний напівфабрикат. Технічні умови»; ТУ У 15.8-01566330-279:2012. «Сушені овочеві продукти. Технічні умови»; ТУ У 15.1–01566330–226:2009. «Дієтичні добавки з крові великої рогатої худоби та рослинної сировини. Технічні умови»; технологічні карти на харчові продукти з СХП. Методологією оцінювання економічного ефекту наукової розробки доведено ефективність створення інноваційного технологічного потоку харчових продуктів з СХП.

Результати роботи апробовані, підтверджені у виробничих умовах та впроваджені у 12-ти закладах ресторанного господарства України, в тому числі: спеціалізованих цехах: ТОВ «М'ясопереробний завод Милам» (м. Луганськ, акт від 27.11.2012 р.); ТОВ «Луганська виробничо-екологічна фірма «Зефір»» (м. Луганськ, акт від 27.12.2012 р.); кафе: ТОВ «Балаклійське ХПП» (м. Балаклея Харківської обл., акт від 27.11.2012 р.); ТОВ «Газпроект кафе «Мрія»» (м. Лозова Харківської обл., акт від 15.05.2013 р.); ТОВ «Янтра – 2006» (м. Київ, акт від 15.05.2014 р.); ФОП Букін А.О. (м. Київ, акти від 25.03.2018 р. і 27.03.2018 р.); їдальні: ФОП «Дорофєєва Р.С.» (м. Київ, акт від 09.02.2015 р.); ресторанах: ТОВ «Шинкар» (м. Київ, акт від 06.09.2016 р.); ТОВ АРКО (м. Київ, акт від 05.06.2018 р.); ТОВ ФЕНДОМ (м. Київ, акт від 06.04.2018 р.); ТОВ «АККО ІНТЕРНЕТІНЛ» (м. Київ, акти від 01.07.2018 р.); кондитерському цеху: ПП «Деліція» (м. Буча Київської обл., акт від 15.04.2018 р.).

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі стану проблеми, формулюванні та підтвердженні наукової концепції роботи, розробці програми досліджень, організації, проведенні аналітичних та експериментальних робіт, аналізі, обробці й узагальненні одержаних даних, формулюванні висновків, підготовці матеріалів до публікації та складанні заявок на корисну модель та винахід, розробці нормативної документації, проведенні заходів з апробації та впровадження результатів дослідження у виробництво.

Узагальнення та обговорення основних положень дисертаційної роботи здійснено сумісно з науковим консультантом, д.т.н., проф. М. І. Погожих.

Дослідження, узагальнення та обговорення результатів щодо формування функціонально-технологічних властивостей СХП, в тому числі антианемічного спрямування (ДД «Редгем»), її використання в окремих технологіях харчових продуктів проведено сумісно з д.т.н., проф. В. В. Євлаш, к.т.н., доц. А. Є. Максименко, к.т.н. Т. А. Тарасенко. Обговорення результатів з впливу ЗТП-сушіння на колірні характеристики СХП, а також щодо залучення овочевої СХП до технологічного потоку виробництва масляних сумішей здійснено сумісно з к.т.н., доц. О. М. Вашекою, к.т.н., доц. О. О. Петрушею.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися на Міжнародних науково-практичних і науково-технічних конференціях: «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке» (м. Санкт-Петербург, 2011 р.), «Прогресивні техніка та технології харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі. Економічна стратегія і перспективи розвитку сфери торгівлі та послуг» (м. Харків, 2011 р.), «Технічні науки: стан, досягнення і перспективи розвитку м'ясної, олієжирової та молочної галузей» (м. Київ, 2012, 2013 р.р.), «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті» (м. Київ, 2013 р.), «Якість і безпека харчових продуктів» (м. Київ, 2013 р.), «The Second North and East European Congress on Food» (м. Київ, 2013 р.), «Инновационные технологии в сфере питания, сервиса и торговли» (м. Єкатеринбург, 2014 р.), «Інноваційні напрямки розвитку освіти, сфери послуг і технологій» (м. Луцьк, 2016 р.), «Наукові здобутки у вирішенні актуальних проблем виробництва та переробки сировини, стандартизації і безпеки продовольства» (м. Київ, 2016 р.), «8 th Central European Congress on Food» (м. Київ, 2016 р.); Всеукраїнських науково-практичних конференціях: «Новітні тенденції у харчових технологіях та якості і безпечність продуктів» (м. Київ, 2010 р.), «Проблеми енергоефективності та якості в процесах сушіння харчової сировини» (м. Харків, 2011 р.), «Здобутки, проблеми та перспективи розвитку готельно-ресторанного та туристичного бізнесу» (м. Київ, 2012 р.).

Публікації. Основні матеріали дисертаційної роботи викладено в 53 наукових працях, у тому числі: 1 колективній монографії, 27 статтях, серед яких 24 – у затверджених наукових фахових виданнях України (з них 10 – у виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз, 5 – у наукових періодичних виданнях інших держав з напрямку, за яким підготовлено дисертацію); 7 патентах України на корисну модель і 4 на винахід; 14 матеріалах конференцій та тез доповідей.

Структура дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, 6 розділів, висновків, списку використаних джерел, що включає 560 найменувань, 6 додатків. Дисертаційна робота викладена на 335 сторінках, містить 94 таблиці і 84 рисунки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність обраного напрямку дисертаційної роботи. Сформульовано мету та завдання дослідження, концепцію, наукову

новизну та практичне значення роботи, наведено відомості стосовно особистого внеску автора, апробації результатів, структури та обсягу дисертаційної роботи.

У першому розділі «Наукові і практичні передумови отримання сушеної харчової продукції (огляд літератури)» проаналізовано аспекти переробки сировини тваринного і рослинного походження, узагальнено літературні дані щодо сучасних технологій отримання сушених овочів, м'яса, дієтичних добавок антианемічного спрямування. Показано, що при використанні сучасних способів зберігання харчової сировини, які є енергоємними і потребують спеціального та додаткового обладнання, виникають технологічні й економічні проблеми. Для їх вирішення та з метою інтенсифікації виробництва і створення конкурентоспроможних харчових продуктів у нашій країні і за кордоном використовуються різні технології сушіння. Одним з перспективних є ЗТП-сушіння, з точки зору збереження харчової цінності вихідної сировини, забезпечення відповідних відновлювальних властивостей СХП та енергоємності процесу.

У другому розділі «Характеристика сировини та методів досліджень» розроблено програму аналітичних та експериментальних робіт, наведено характеристики об'єктів, предметів та методів досліджень. Роботу виконано в лабораторних та виробничих умовах. Для сушіння зразків використовували установку, конструкція якої розроблена в ХДУХТ, технічні характеристики відповідають вимогам для здійснення ЗТП-сушіння. Відбір зразків, визначення хімічного складу, органолептичних, технологічних, структурно-механічних властивостей, показників якості та безпеки СХП, модельних систем та харчових продуктів здійснено за загальноприйнятими методиками. Для оцінювання здатності до усадки СХП застосовано дифрактометр типу ДРОН-3М у випромінюванні $\text{CuK}\alpha$ (нікелевий фільтр), $U = 30$ кВ, $I = \text{мА}$, $\Delta 2^\theta = 0,04^\circ$, $\tau = 3$ с. Стан та структуру водної фази в СХП визначали термічним методом аналізу, що дозволяє вимірювати температуру зразка, швидкість зміни маси, ентальпію. Запис інфрачервоних (ІЧ) спектрів у режимі порушеного повного внутрішнього відбиття проводили за допомогою спектрометра Nicolet Nexus 470. Глибину проникнення ІЧ-випромінювання до зразка (d_e) залежно від довжини хвилі (λ) визначали з урахуванням показника заломлення світла зразком (n_s) і оптичним елементом (n_o). Сорбційні характеристики СХП визначали: тензометричним методом (за стану рівноваги зразка за відповідної вологості повітря); ваговим методом на вакуумній установці Мак-Бена з пружинними кварцовими вагами (за розрахунку величини питомої поверхні зразків з ізотерм адсорбції парів методом полімолекулярної теорії БЕТ); ртутною порометрією (за примусового стискання та самовільного розширення зразків ртуттю з характеристикою циклічних процесів стискання–розширення за гістерезисом). Число аромату СХП – за методикою, в основі якої титриметричний метод; колірність СХП – комп'ютерною колориметрією з оцифруванням зображення і обробкою в числові значення координат в системі RGB з перерахунком в системах *CIELab* і *XYZ* за допомогою програм CorelDraw і ColorLab відповідно. Дослідження фазових змін гліцеридів молочного жиру у

масляних сумішах проводили термодинамічним методом на диференційному скануючому калориметрі у діапазоні температур від -100°C до 70°C . Ідентифікацію піків виділення теплоти зразками проводили за температурами плавлення характерних груп їх гліцеридів.

Результати експериментів опрацьовували методами математичної статистики та кореляційного аналізу з використанням програмних засобів.

Визначення інвестиційного потенціалу технологій СХП та харчових продуктів з її використанням здійснювали за сукупністю показників, які сформовано з дотриманням критеріїв наукоємності продукції, а також науково-технічного значення розробки та її інвестиційної привабливості щодо комерціалізації.

У третьому розділі **«Розвиток наукових основ формування функціонально-технологічних властивостей сушеної харчової продукції для технологій харчових продуктів»** сформульовано та підтверджено наукову концепцію роботи формування в ході сушіння функціонально-технологічних властивостей СХП як основи удосконалення й розроблення інноваційних наукоємних харчових технологій, розширення асортименту, адаптації технологій харчових продуктів з її використанням для різних умов виробництва з отриманням доданої вартості. За суттю концепції стверджується, що функціонально-технологічний потенціал СХП більш універсальний та широкий, який дозволяє пропонувати інновації харчовій промисловості України з очікуваною доданою вартістю на всіх стадіях виробництва харчових продуктів з СХП. При цьому інноваційна частина концепції полягає у створенні наукоємних технологій як самої СХП, так і харчових продуктів з її використанням.

Попередньою підготовкою до процесу, способами, режимами сушіння формуються стабільні функціонально-технологічні властивості СХП, що значно розширюють і спрощують технологічні операції, їх кількість для реалізації інноваційних технологічних потоків виробництва харчових продуктів.

Видалення від 2...3-х до 10 частин води з харчової сировини – це не тільки енергоємний процес, але й такий, що суттєво впливає на зміщення термодинамічних потенціалів СХП: числа фаз, хімічних потенціалів компонентів, включаючи воду, вільної енергії поверхонь поділу, енергії Гіббса; фізико-хімічних властивостей: щільності, пористості, теплоємності, а також структурно-механічних. При видаленні води з сировини змінюються умови термодинамічної рівноваги з довкіллям за несуттєвих змін в хімічному складі сухих речовин і значним збільшенням їх питомого масового вмісту. Серед термодинамічних потенціалів, які виникають при зневодненні, та їх вияву у функціонально-технологічних властивостях СХП, в першу чергу, це – поверхневі потенціали.

Модель динамічної поведінки вологи в сировині при зневодненні показує, що за досить високих швидкостей тепломасообміну видалення вологи зміщується в область «вільного» стану, а зв'язана волога, що залишилась, має меншу енергію зв'язку порівняно з помірними швидкостями тепломасообміну, що показано д.т.н., проф. Погожих М.І.

При збільшенні площі поверхні розділу частина молекул з об'ємної фази виводиться до поверхневого шару, в результаті збільшується вільна енергія поверхні, – поверхня розриву Гіббса:

$$dF^s = T^s dS + T^s ds + \sum_i \mu_i^s dn_i^s \quad (1),$$

де T – температура, К; S – ентропія, Дж / К; s – площа поверхні, м²; σ – поверхневий натяг, Дж / м²; μ_i^s – хімічний потенціал i -го компонента, Дж / моль; dn_i^s – число молей i -го компонента, моль.

Оскільки для розчинника і розчинених в об'ємі речовин n_i^s більше середнього числа молей в об'ємній фазі n_i^0 , то висушена сировина має принципово інші за величиною потенціали взаємодії з навколишнім середовищем, ніж вихідна. Саме цей факт дозволяє обрати концепцію роботи щодо формування нових функціонально-технологічних властивостей харчової продукції в процесі сушіння з реалізацією їх в технологіях харчових продуктів.

СХП виявляє взаємодію з відповідними фазами зовнішнього середовища та при штучному внесенні фаз ззовні, що є відмінною особливістю порівняно з нативною сировиною: за агрегатним станом – фазову, хімічну, біохімічну та мікробну спорідненості, що, в свою чергу, дозволяє отримати її нові регульовані властивості. Запропоновані нами види такої взаємодії наведено в табл. 1.

За технологічним призначенням СХП може бути різної товарної форми: порошками заданої дисперсності, стружкою, шматочками, гранулами тощо.

За суттю СХП являє собою гетерогенну полідисперсну систему, що складається з трьох фаз – газової, твердої і рідкої. При функціонуванні такої системи, в тому числі, при зберіганні, повинні виконуватись умови рівноваги між фазами: тверда–газ, рідина–газ, газ–газ, тверда–рідина, рідина–рідина, газ–рідина, тверда–тверда, рідина–тверда, газ–тверда. Ці рівноваги зумовлюють тривалість та умови функціонування СХП у технологічних середовищах, а самі ці рівноваги по'язані з фізико-хімічними процесами: диспергуванням, адсорбцією, десорбцією, адгезією, когезією, змочуванням, просочуванням, гідратацією, емульгуванням. Для кожного з цих явищ, з огляду на термодинамічну систему, повинні виконуватись певні закони хімічних реакцій – рівність хімічних потенціалів μ , закон збереження маси; закон взаємодії маси; мінімуми термодинамічних потенціалів, як то: Гіббса G (вільна ентальпія: $G = H - TS$), Гельмгольца F (вільна енергія: $F = U - TS$, де H – ентальпія, Дж; S – ентропія, Дж / К; U – внутрішня енергія, Дж).

Теоретичні положення формування здатності до диспергування СХП як сукупності частинок та пор до грубодисперсного та мікрогетерогенного станів фази в дисперсній системі, що є найбільш поширеними з технологічної точки зору, передбачають набуття дрібнодисперсними системами: більших міцності; твердості; питомої площі взаємодії з оточенням; інтенсивного забарвлення і аромату.

Внаслідок взаємодії між різнорідними конденсованими тілами на межі розділу фаз СХП набуває властивостей структурованої дисперсної системи (твердого капілярно-пористого тіла), що володіє міцністю, а додавання полярної або неполярної рідини регулює пружні, в'язкі і пластичні властивості готової продукції.

Таблиця 1 – Фазові взаємодії СХП з фазами зовнішнього середовища

Фаза СХП	Фаза зовнішнього середовища	Фазові взаємодії	Трансфер взаємодії, формування властивостей СХП
1. Тверда	1.1. Тверда	Розосередження однієї фази в іншій за механічного впливу; когезія	Рівноважна вологість; об'ємна густина; пористість
	1.2. Рідка	Змочування; просочування; жирутримування; утворення емульсії; утворення моношару поверхневої плівки	Регідратація, жирутримуюча та емульгуюча здатності; антиоксидантна активність; мікробна стабільність
	1.3. Газова	Дифузія газу; адсорбція; оклюзія повітрям; хемосорбція	Газова рівновага
2. Рідка	2.1. Тверда	Адгезія; конгломерація	Сухі суміші, збагачені функціональними інгредієнтами
	2.2. Рідка	Полярні–полярні; полярні–неполярні; іонні взаємодії	Екстракція смакоароматичних речовин; формування органолептичних властивостей продукції
	2.3. Газова	Сорбція–десорбція	Регульоване газове середовище при зберіганні продукції
3. Газова	3.1. Тверда	Сорбція–десорбція	Формування смакоароматичних властивостей продукції
	3.2. Рідка	Незначні	Флотація
	3.3. Газова	Дифузія, сорбція	Формування смакоароматичних властивостей продукції

Одним з основних явищ в харчових технологіях з СХП є капілярне змочування та просочування. При цьому основними рідинами є вода та молоко, які є природними технологічними рідкими середовищами. Інші види рідини, що функціонують у технологічних потоках, потрібно вважати штучними і до них відносять: алкогольну, емульсійну продукції, а також соки або розчини речовин, що коригують властивості води. Важливим параметром при цьому є крайовий кут змочування θ , який безпосередньо зв'язаний з площею контакту та поверхневим натягом на межі розділу фаз.

Умовою ефективного відновлення СХП є максимальний одночасний доступ рідини до поверхні, тобто частинка СХП повинна мати максимальну

площу поверхні відносно свого розміру. За однакових розмірів частинок поверхня завжди буде більшою там, де присутня пористість, що й зумовлює необхідність формування пористої структури за використання сушіння. Перевагою доступу рідини посередництвом пор є те, що частинка змочується не лише за зовнішньою поверхнею, але й проникає крізь пори всередину пористого тіла, тому відновлюваний процес проходитиме швидше і ефективніше залежно від виду рідини. Полярна рідина повністю заповнює пори, сприяючи набуханню СХП; неполярні рідини: олії, розплавлені рослинні і тваринні жири – просочуються та утримуються у порах. Емульсії, що містять у складі одночасно полярну й неполярну рідини, мають достатньо високу в'язкість й низьку текучість, тому така рідка дисперсна система має певне обмеження у взаємодії з СХП. Але при утворенні прямих та обернених емульсій СХП виконуватиме функцію стабілізатора як на етапі утворення емульсії, так і в ході технологічної реалізації при виробництві харчових продуктів.

Знижуючи крайовий кут змочування та поверхневий натяг рідини, можна досягти покращення змочування, не змінюючи структури пористого тіла. Відомо, що поверхневий натяг полярної рідини, якою є вода, пропорційно залежить від температури за виглядом Ван-дер-Ваальса:

$$\sigma = \sigma_0 \cdot (1 - T / T_{cr}) \quad (2),$$

де σ – коефіцієнт поверхневого натягу рідини на межі з СХП, Н/м; σ_0 – гіпотетичне значення σ при $T = 273 \text{ K}$; T_{cr} – критична температура, за якої $\sigma = 0$.

З підвищенням температури рідини поверхневий натяг зменшується, тому при змочуванні скорочується час відновлення СХП. Але підвищення температури змочувальної рідини призводить до швидкого набухання устя пори СХП і, як наслідок, її закупорювання, що, навпаки, подовжує час відновлення або знижує ефект змочування та просочування. Особливо це стосується СХП, яка більш ніж на 70 % складається з біополімерів полісахаридної природи (клітковина, геміцелюлози, низько- та високометоксильовані пектинові речовини, інουλін тощо), які здатні до швидкого набухання у воді.

Залежність Гіббса між величиною адсорбції, концентрацією розчину і поверхневим натягом за даної температури середовища описується рівнянням:

$$\Gamma = - \frac{c}{RT} \cdot \frac{d\sigma}{dc} \quad (3),$$

де Γ – надлишок речовини в поверхневому шарі, кмоль / м²; c – концентрація, кмоль / м³; R – газова стала, Дж / кмоль · К; T – абсолютна температура, К; σ – коефіцієнт поверхневого натягу, Н / м.

Тобто, крім температури рідини для відновлення, як запропоновано вище, можна регулювати і її густину при відновленні СХП шляхом розчинних речовин. Більшість органічних та неорганічних сполук, розчиняючись у воді,

змінюють такі її фізико-хімічні властивості як pH , густину та поверхневий натяг відносно повітря.

Прогнозування умов та термінів зберігання СХП пов'язане з аналізом рівняння Гіббса для адсорбційного змочування, де кількість парів, адсорбованих на поверхні твердого тіла, визначається залежністю:

$$\Gamma = - \frac{1}{RT} \frac{d\gamma}{d \ln p} \quad (4),$$

де γ – питома поверхнева робота, Дж / м²; p – парціальний тиск пари, Па.

Для гідрофобних частинок твердого тіла, які слабо адсорбують водяну пару, кількість адсорбованої речовини Γ в водному розчині можна вважати малою. Для поверхні твердих тіл з наявністю гідрофільних груп явище змочування зумовлене нерівністю $\cos \theta > 0$, що співпадає з умовою змочування просочуванням капілярно-пористих тіл. Рухомою термодинамічною силою процесу самовільного змочування є зміна вільної поверхневої енергії $\Delta G < 0$, що відповідає питомій поверхневій роботі γ , нормованій на площу поверхні.

Процеси перенесення вологи до дисперсних систем відіграють важливу роль при функціонуванні технологічних потоків з залученням СХП, зокрема, такий процес як просочування та його кінетика, яка визначається кількістю рідини, що просочилась до дисперсії за певний час. При цьому площа вільної поверхні збільшується, якщо видалення вологи проходило без усадки об'єму. Поверхня СХП, що являє собою тверде капілярно-пористе тіло з великими за величиною поверхневими силами, має деяку питому вільну поверхневу енергію. Сам процес проникнення рідини до пористого тіла може бути описаний моделями заповнення декількох видів пор: наскрізної; тупикової; закритої. За постійних значень радіусу пори r , поверхневого натягу σ та кута змочування θ витікає закон капілярного просочування:

$$\text{для відкритих пор: } l = k_1 \sqrt{\tau} \quad (5), \quad \text{де } k_1 = \sqrt{\frac{r \sigma \cos \theta}{2 \eta}} = \text{const} \quad (6),$$

$$\text{для тупикових: } l = k_2 \sqrt[3]{\tau} \quad (7), \quad \text{де } k_2 = \sqrt[3]{\frac{3 r \cos \theta l_0}{4 \eta}} \quad (8).$$

Отже, створення пористої структури при зневодненні сировини, що формується способом сушіння, його режимами, попередньою підготовкою до процесу, запобіганням усадки, забезпечує задані функціонально-технологічні властивості СХП. З огляду на уявлення про дисперсні багатокomпонентні системи, потенціал СХП може бути реалізований в технологіях харчових продуктів, де виходом є суспензії, емульсії, капілярно-пористі тверді тіла, для чого, за технологічною необхідністю, надаються геометричні розміри СХП, ступінь диспергування до порошкоподібного стану.

Таким чином, з огляду на класифікацію дисперсних систем в фізколоїдній хімії, СХП може бути складовою від рідиноподібної до газоподібної дисперсій, тобто повністю перекидає термодинамічні системи асортименту сучасних харчових продуктів.

Наведено бізнес-прогноз залучення СХП до наукоємних технологічних потоків – рис. 1. Як видно, виходом системи є очікувана додана вартість на всіх технологічних стадіях виробництва харчової продукції з СХП, отриманої ЗТП-сушінням, що є інвестиційно привабливим.

Для формування функціонально-технологічних властивостей СХП з усіх, відомих на цей час способів, енергетично ефективним слід вважати ЗТП-сушіння. Крім того, цей спосіб є певним наближенням до сублімаційного сушіння, і, з точки зору теплової або термічної дії на харчову сировину, є найбільш ощадним. Тому порівнювались лише два способи теплового сушіння: ЗТП та традиційно розповсюджене конвективне. При цьому акцент при формуванні функціонально-технологічних властивостей СХП робили на ЗТП-сушіння. В роботі виділено та пов'язано між собою чинники вибору сировини, процеси формування функціонально-технологічних властивостей, їх вияв та напрями реалізації в ході технологічних потоків з режимами сушіння.

Для підтвердження наукової концепції роботи як приклади предметів дослідження обрано харчову сировину за критеріями: високий вміст складових з фізіологічно активною дією (наприклад, білка в м'ясі яловичини; гемоглобіну в легкозасвоюваній формі в крові ВРХ; інуліну в топінамбурі сорту «Інтерес», β -каротину в моркві сорту «НІОХ 336»); вміст жиру і ступінь дозрівання м'яса; висока врожайність і широке районування, хімічний склад та морфологічні властивості овочевих культур, що дозволяють здійснювати сушіння (наприклад, капуста білокачанна сорту «Амагер» з ущільненою будовою качана; кабачки столові сорту «Грибовські 37»).

У четвертому розділі «Формування функціонально-технологічного потенціалу сушеної харчової продукції» обґрунтовано спосіб, визначено раціональні режими ЗТП-сушіння та подрібнення СХП, за умов дотримання яких вона набуває функціональних властивостей, фізико-хімічних показників якості і безпеки. За кінетикою процесу, коефіцієнтом водопоглинання, вологоутримуючою здатністю, а також додатково для пасти з крові ВРХ співвідношенням форм гемоглобіну визначено раціональні режими ЗТП-сушіння: капусти 50 °C і тривалість 98 × 60 с, кабачків 70 °C і 74 × 60 с, топінамбура 70 °C і 70 × 60 с, моркви 70 °C і 76 × 60 с, м'яса яловичини відвареного 70 °C і 80 × 60 с, пасти з крові ВРХ і порошком з плодів шипшини 75 °C і 100 × 60 с.

Рентгеноструктурним аналізом показано переважну кристалічність структури крохмальних полісахаридів СХП під час ощадних умов ЗТП-сушіння порівняно з конвективним.

Структура та хімічний склад сухої речовини є такими, що зумовлюють рівновагу між змочуваною рідиною, сухою поверхнею та газовим оточуючим середовищем. При цьому розподіл вільної енергії не є однорідним як за поверхнею, так і за товщиною шару, що утворює розчинник з сухою речовиною. Цей досить відомий факт відбивається на енергії зв'язку вологи з сухим матеріалом. Тому термогравіметричним методом вивчено стан та структуру водної фази у висушених та відновлених зразках СХП.

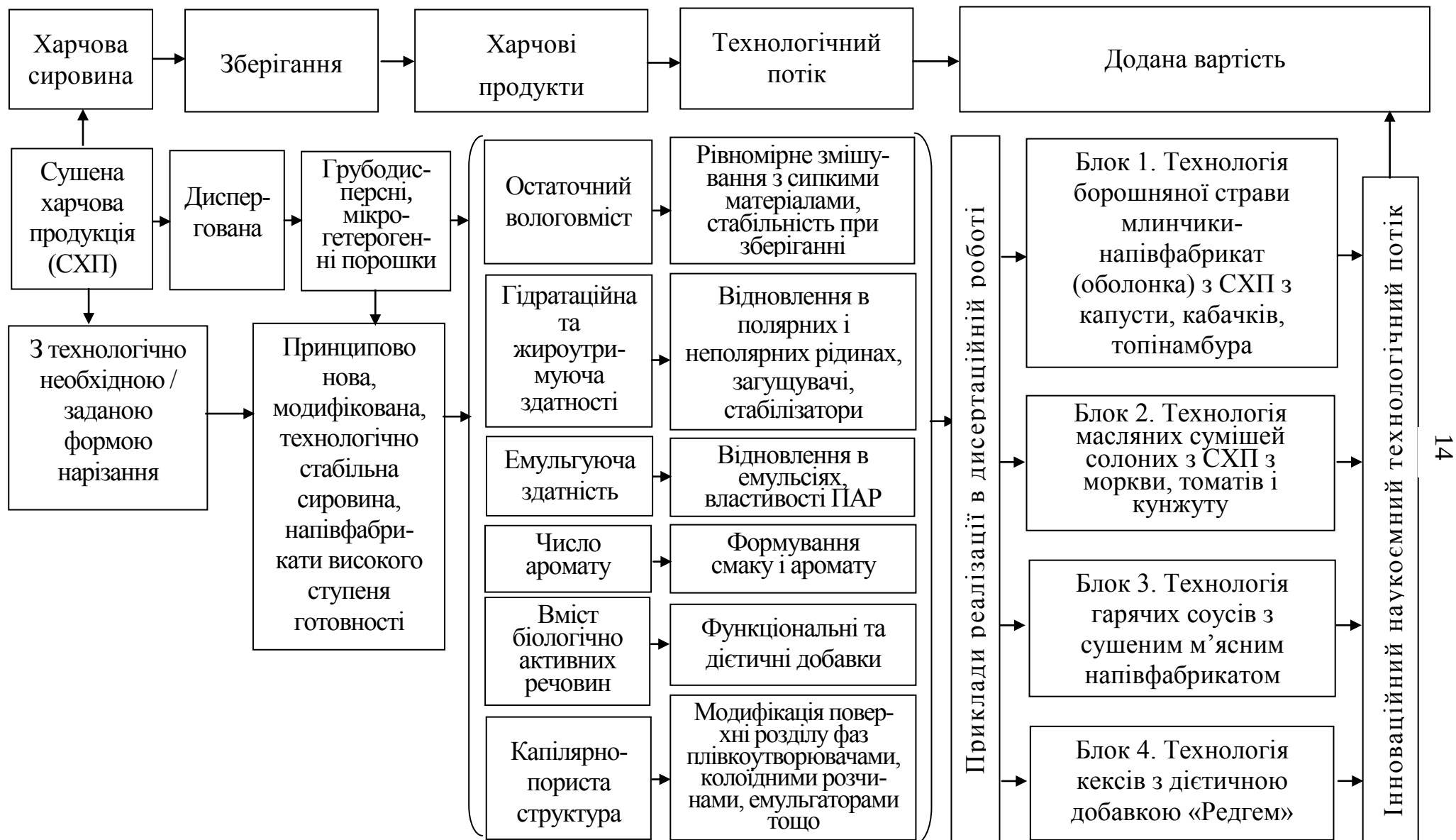


Рисунок 1 – Бізнес-прогноз залучення СХП до наукоємних технологічних потоків харчових продуктів

Показано, що визначальними у розподілі форм зв'язків вологи за різними енергіями є не лише спосіб та режими сушіння, а й природа та фізико-хімічні властивості вихідної сировини. Температура видалення вологи форм зв'язку у зразках ЗТП-сушіння є вищою на (20...25) °С порівняно з конвективним. Загальною тенденцією для зразків ЗТП-сушіння є утримання адсорбційно зв'язаної вологи полі- та мономолекулярних шарів з переважанням останньої. У зразках конвективного сушіння переважною є волога з осмотичними та меншою мірою полімолекулярними зв'язками. Це забезпечує вияв певної водопоглинальної та вологоутримуючої здатностей, набухання, які, в свою чергу, є чинниками при утворенні полідисперсних колоїдних систем і доводять більші терміни зберігання СХП, що сприяє ресурсозбереженню.

Методом інфрачервоної спектроскопії встановлено, що ошадні умови ЗТП-сушіння сприяють формуванню більш крихкої пористої структури овочевої СХП на відміну від ущільнених зразків конвективного способу. За дослідження порушення повного внутрішнього відбиття (ІЧ-спектри) встановлено, що процес відновлення СХП приводить до зростання доступності речовин до розчинника в сировині рослинного походження. Визначено, що відновлення висушених м'яса та пасти з крові ВРХ і порошку з плодів шипшини залежить лише від температури та полярності змочувальної рідини. Отримані результати свідчать про те, що ЗТП-сушіння сприяє формуванню капілярно-пористої структури СХП, яка дозволяє збільшити кількість адсорбційно зв'язаної води. Це узгоджується з результатами термогравіметричного методу аналізу.

Досліджено здатність до диспергування СХП. Для апроксимації кривих розподілу частинок за розміром використовувалась функція вигляду:

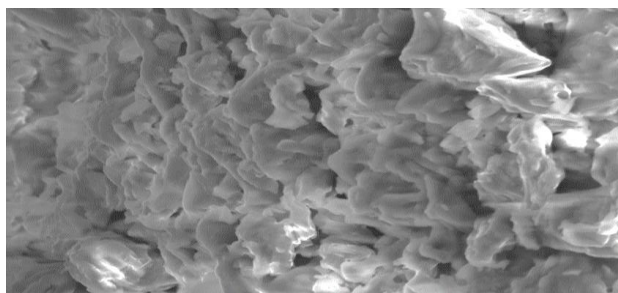
$$f(x) = a_1 \cdot x \cdot \exp(a_0 + a_2 \cdot x^2) \quad (9),$$

де x_1 – діаметр частинки, 10^{-6} м; a_n – коефіцієнти апроксимації, m^{-n} .

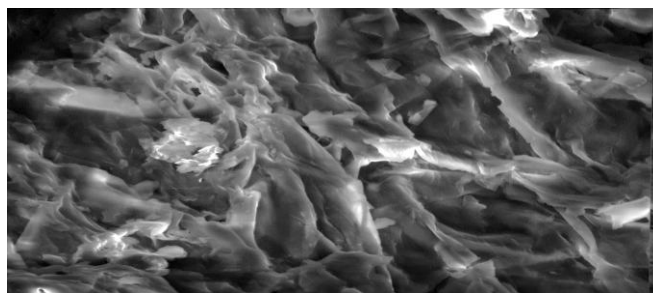
В результаті помелу висушених м'яса яловичини і паст з крові ВРХ і порошку з плодів шипшини отримано сушений м'ясний напівфабрикат (СМН) і дієтичну добавку (ДД) «Редгем» антианемічного спрямування. Отримано порошки з СХП з фракціями за розміром частинок, $d \times 10^6$, м: СМН – 90...200, 60...90 і 30...60; овочів та ДД «Редгем» – 50...100, 30...50, 10...30.

Мікроструктурними дослідженнями (рис. 2) показано, що завдяки ошадним умовам ЗТП-сушіння зберігається морфологічна структура СХП: частинки всіх її видів мають комірчасту структуру без конгломератів, яка складається з рівномірної просторової сітки (щільної переважно целюлозної упаковки в капусті і шаруватої в кабачках, частково волокнистої у СМН і суміші подрібненої сушеної крові ВРХ і плодів шипшини в добавці) і утворених пор.

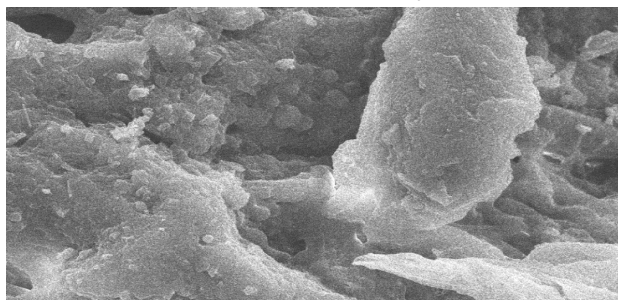
Відсутність конгломератів і наявність комірчастої будови СХП зумовлюють тривале зберігання порошків без грудкування і їх високу регідратаційну здатність.



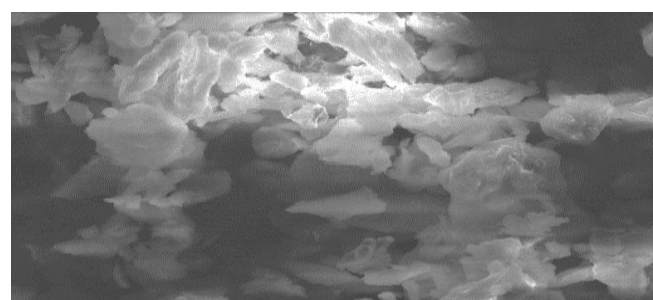
частинка СХП з капусти



частинка СХП з кабачків



частинка СМН



частинка ДД «Редгем»

Рисунок 2 – Мікроструктура ($\times 1000$) частинок СХП, отриманої ЗТП-сушінням

Здатність СХП до дегідратації при сушінні та регідратації в технологічному процесі і при зберіганні зумовлена зв'язуванням та утримуванням молекул води гідрофільними групами та капілярно-пористою структурою. Тому здійснено комплексні порометричні дослідження СХП: тензометричним методом (табл. 2), порометрією на установці Мак-Бена, ртутною порометрією.

При цьому доведено, що при конвективному сушінні внаслідок усадки при зневодненні зміни при сорбції та десорбції є незначними, тоді як при ЗТП-сушінні такі зміни яскраво виражені: в процесі сорбції парів СХП добре відновлюється, капіляри набухають, тому диференційна функція розподілу пор розширюється, середній радіус капілярів збільшується в 4...6 разів.

Отримані дані свідчать про формування в ході ЗТП-сушіння розвиненої крупнопористої структури СХП, тому ймовірний радіус капілярів більше, ніж при конвективному. Раціональною температурою сушильного агента при ЗТП-сушінні СХП є 70 °С, за виключенням капусти, для якої температура становить 50 °С.

Структурні характеристики СХП, отримані методом Мак-Бена, свідчать, що об'єм пор в зразках ЗТП-сушіння є більшим в 1,2...1,4 рази порівняно з конвективним. Результати вказують на значне стиснення структури зразків при конвективному способі та її збереження при ЗТП-сушінні, наявність в СХП мезопор з формою, близькою до циліндричної та пляшкоподібної; в зразках конвективного – щілиноподібні пори з меншим об'ємом. Виявлені кореляції між структурними характеристиками зразка – розподілом пор за радіусом, сорбційним об'ємом пор, питомою поверхнею зразка – і температурними режимами ЗТП-сушіння дозволяють науково обґрунтувати ефективність реалізації ощадних режимів процесу.

**Таблиця 2 – Порометричні дослідження тензометричним методом:
розподіл пор за радіусами СХП**

СХП	$R_m \cdot 10^{-9}$, м ($\delta \leq 10\%$)		$\check{R} \cdot 10^{-9}$, м ($\delta \leq 10\%$)	
	десорбція	сорбція	десорбція	сорбція
м'ясо конвективного сушіння (контроль)	1,63	1,72	11,80	18,10
СМН ЗТП-сушіння за $t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$	2,19	1,98	18,90	10,00
СМН ЗТП-сушіння за $t = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$	4,52	2,26	35,10	12,20
ДД «Редгем»	3,15	2,91	19,20	10,60
з капусти конвективного сушіння (контроль)	1,10	2,55	20,90	25,80
з капусти ЗТП-сушіння за $t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$	1,48	2,36	18,10	2,40
з капусти ЗТП-сушіння за $t = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$	1,44	2,20	11,50	2,00
з кабачків конвективного сушіння (контроль)	1,48	2,36	18,10	2,40
з кабачків ЗТП-сушіння за $t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$	1,04	1,85	18,60	4,42
з кабачків ЗТП-сушіння за $t = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$	0,76	1,50	16,96	1,94
з топінамбура конвективного сушіння (контроль)	1,00	2,18	21,10	2,80
з топінамбура ЗТП-сушіння за $t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$	2,51	2,53	13,40	21,40
з топінамбура ЗТП-сушіння за $t = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$	1,33	2,18	11,10	2,80
з моркви конвективного сушіння (контроль)	1,58	1,83	23,78	5,40
з моркви ЗТП-сушіння за $t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$	1,15	2,00	9,10	24,70
з моркви ЗТП-сушіння за $t = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$	1,40	3,18	14,70	2,90

* R_m – радіус, на який припадає максимум диференційної функції розподілу пор

Досліджено дилатометричні властивості порового простору СХП (ртутна порометрія). Доведено, що зразки конвективного сушіння мають більш щільну структуру через усадку. Процес примусового стискання та самовільного розширення пор СХП, отриманої ЗТП-сушінням, вказує на утворення мікро- і мезопор з крихкими стінками, що позитивно відбиватиметься на процесах диспергування та відновлення.

При аналізі величин кута змочування СХП полярними і неполярними рідинами (табл. 3) встановлено, що для гідрофобних частинок СМН і ДД «Редгем», які складаються з коагульованого білка і слабо адсорбують водяну пару, в водному розчині можна вважати кількість адсорбованої речовини малою, що узгоджується з теоретичними положеннями роботи, представленими в Розділі 3.

Для овочевої СХП явище змочування зумовлене нерівністю $\cos \theta > 0$ і відповідає комбінації змочування–просочування. Отримані дані зворотно пропорційно корелюють з жирутримуючою та емульгуючою здатностями СХП, отриманої ЗТП-сушінням.

**Таблиця 3 – Крайовий кут θ змочування СХП
полярними і неполярними рідинами**

СХП	Значення θ° рідини змочування		
	вода	молоко	олія
з м'яса конвективного сушіння	48 ± 4	52 ± 5	49 ± 4
СМН	44 ± 4	48 ± 4	46 ± 4
ДД «Редгем»	42 ± 4	43 ± 4	42 ± 4
з капусти конвективного сушіння	31 ± 3	38 ± 3	51 ± 4
з капусти ЗТП-сушіння	26 ± 2	34 ± 3	50 ± 4
з кабачків конвективного сушіння	33 ± 3	43 ± 4	57 ± 5
з кабачків ЗТП-сушіння	28 ± 2	39 ± 3	57 ± 5
з топінамбура конвективного сушіння	40 ± 3	52 ± 5	60 ± 5
з топінамбура ЗТП-сушіння	35 ± 3	48 ± 4	58 ± 5
з моркви конвективного сушіння	35 ± 3	47 ± 4	51 ± 5
з моркви ЗТП-сушіння	32 ± 3	46 ± 4	51 ± 5

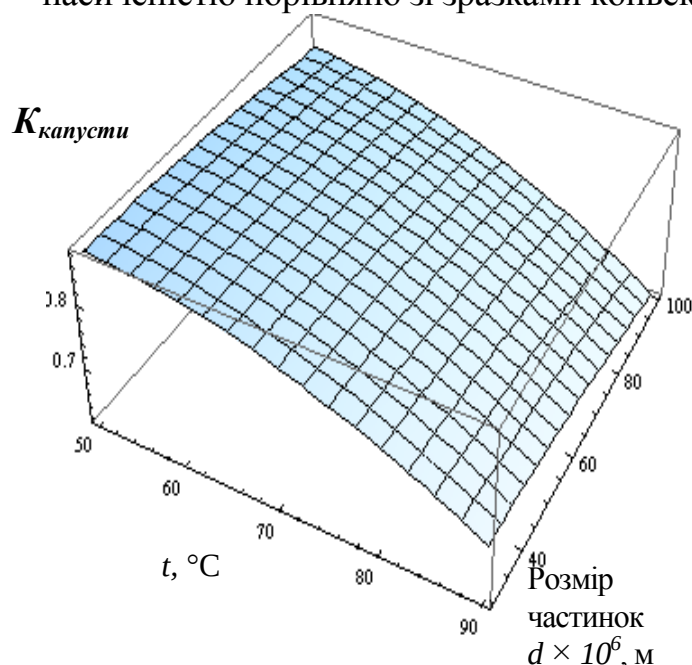
Процес набухання (температура води в діапазоні 20...50...80 °С) пов'язаний з розвиненою пористістю зразків ЗТП-сушіння: великі за розміром пори заповнюються просочуванням рідини при зануренні, потім дрібні капіляри всмоктують рідину за рахунок капілярних сил, а далі – власне процес набухання. Встановлено, що за температури середовища 50 °С спостерігається максимальне набухання овочевої СХП. Проте температура 80 °С призводить до деструкції протопектину та геміцелюлоз, утворення пектинових речовин, низькомолекулярних сполук в складі паренхіми сушеної овочевої сировини і значного їх набухання. Це, в свою чергу, спричиняє збільшення об'єму пористого простору, закупорювання макро– та мезопор та зменшення кількості поглинутої ними води. Інтенсивність набухання СМН і ДД «Редгем» є в 1,5...2,5 рази меншою, ніж овочевої СХП, що корелює з результатами термогравіметричного методу, але на відміну від останньої, з підвищенням температури води процес інтенсифікується.

Показано, що раціональні температури набухання овочевої СХП у водній фазі знаходяться в інтервалі 45...50 °С з витримкою (10...15) × 60 с, подальше підвищення температури є недоцільним, оскільки не чинить впливу на процес відновлення і може спричинити руйнування біологічно активних компонентів СХП. Для СМН і ДД «Редгем» температура води для відновлення становить (60...80) °С і тривалість (20...25) × 60 с.

Встановлено, що коефіцієнт водопоглинання СХП залежить від виду та температури рідини для відновлення: у всіх полярних і неполярних рідинах максимальна величина показника відзначається за температури середовища для відновлення 50 °С.

Зміни у кількості фаз та термодинамічних потенціалів повинні приводити до зміни рівноваги за деякими хімічними сполуками, у тому числі, що зумовлюють показник число аромату. Встановлено, що більше ароматоутворюючих речовин міститься в зразках ЗТП-сушіння незалежно від температури сушильного агента,

менше – у висушених зразках конвективного. Це пов'язане зі зменшенням теплової і термічної дії при ЗТП-сушінні, що уповільнює хімічні перетворення та зменшує видалення речовин, які формують аромат. Кольорові характеристики всіх видів СХП, отриманої ЗТП-сушінням, характеризуються більшою насиченістю порівняно зі зразками конвективного способу.



Складено та проаналізовано математичні моделі формування функціонально-технологічних властивостей СХП і адаптації їх для різних дисперсних систем (наприкладі порошку з капусти – рис. 3); оптимізовано комплексні показники СХП за властивостями: коефіцієнтом водопоглинання, вологоутримуючою, жирутримуючою, емульгуючою здатностями та числом аромату ($K_{СХП}$) залежно від температури ЗТП-сушіння та дисперсності СХП з урахуванням коефіцієнта вагомості властивостей: наприклад, для СХП з капусти 50 °С, $(30 \dots 60) \times 10^{-6}$ м (табл. 4).

Рисунок 3 – Поверхня відгуку впливу температури сушильного агента ЗТП-сушіння і розміру частинок на значення комплексного показника функціонально-технологічних властивостей СХП з капусти ($K_{капусти}$)

На підставі органолептичних, мікробіологічних та тензометричних досліджень визначено раціональні режими зберігання СХП: за температури (20 ± 2) °С та відносної вологості повітря 70 %: в поліетиленовому пакуванні з доступом повітря не більше 6 міс., без доступу – не більше 12 міс. Доведено, що сорбція парів води з зовнішнього середовища є мінімальною для СМН, ДД «Редгем», що зумовлює можливість їх зберігання як в поліетиленовому, так і вакуумному пакуванні; вміст полісахаридів в складі овочевої СХП призводить до її гігроскопічності, що потребує застосування вакуумного пакування. Дані підтверджено і стійкістю СМН до окиснювальних процесів.

Складено науково обґрунтовані рекомендації з виробництва СХП, основними позиціями яких є: властивості вихідної сировини; регламентування її попередньої теплової обробки перед сушінням; відсутність її хімічної обробки, консервантів, добавок і формування відповідних властивостей за дотримання режимів сушіння. Так, для овочевої сировини передбачено бланшування за (98 ± 2) °С і $(1 \dots 2) \times 60$ с, здійснення ЗТП-сушіння.

Таблиця 4 – Концептуальна модель функціонально-технологічних властивостей СХП з капусти

Коефіцієнт вагомості функціонально-технологічних властивостей СХП (відн. од.)					Асортимент харчових продуктів	$Y_{найб.}$, відн. од.	$x_1, ^\circ\text{C} / x_2 \times 10^{-6}, \text{м}$	Математична модель комплексного показника функціонально-технологічної властивості СХП
Коефіцієнт водопоглинання	Вологоутримуюча здатність	Жирутримуюча здатність	Емульгуюча здатність	Число аромату				
0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	Всі види дисперсних систем	0,89	50 / (10...30)	$Y = 0,773679 + 0,006787x_1 - 0,000485x_2 - 0,000081x_1^2 - 0,000002x_2^2 - 0,00004x_1x_2$
0,1	0,3	0,2	0,2	0,2		0,89		$Y = 0,821006 + 0,005607x_1 + 0,000756x_2 - 0,000075x_1^2 - 0,000001x_2^2 - 0,000001x_1x_2$
0,3	0,1	0,2	0,2	0,2		0,89		$Y = 0,726352 + 0,007967x_1 - 0,000213x_2 + 0,000087x_1^2 - 0,000003x_2^2 - 0,000008x_1x_2$
0,1	0,2	0,2	0,2	0,3		0,88		$Y = 0,792325 + 0,005533x_1 - 0,000069x_2 - 0,000074x_1^2 - 0,000002x_2^2 - 0,000004x_1x_2$
0,1	0,1	0,4	0,1	0,3	З переважно емульсійною структурою	0,88	46 / (10...30)	$Y = 0,642999 + 0,009509x_1 - 0,001159x_2 - 0,000098x_1^2 - 0,000008x_2^2 - 0,000014x_1x_2$
0,1	0,2	0,2	0,3	0,2		0,88	50 / (10...30)	$Y = 0,808056 + 0,005738x_1 + 0,000995x_2 - 0,000075x_1^2 - 0,000001x_2^2 - 0,000003x_1x_2$

Для м'ясної сировини – варіння на пару і ЗТП-сушіння за температури 70 °С впродовж 80 × 60 с. При виробництві ДД «Редгем» витримують суміш крові ВРХ з порошком з плодів шипшини, здійснюють теплову обробку суміші (напівфабрикат – паста), її ЗТП-сушіння та подрібнення.

Досліджено хімічний склад (табл. 5), показники якості та безпеки СХП. Як видно з табл. 5, за хімічним складом СМН і ДД «Редгем» виступають джерелом білка і гемового заліза, а овочева СХП – клітковини, пектинових речовин, інуліну, мінеральних речовин.

Таблиця 5 – Хімічний склад СХП

Складова	Вміст в СХП, в %					
	з капусти	з кабачків	з топінамбура	з моркви	СМН	ДД «Редгем»
Вода	7,0 ± 0,5	7,0 ± 0,5	7,0 ± 0,5	7,0 ± 0,7	7,0 ± 0,5	7,5 ± 0,5
Білки	16,7 ± 1,2	8,1 ± 0,8	8,2 ± 0,8	8,6 ± 0,8	86,0 ± 1,3	77,0 ± 7,0
Жири	1,9 ± 0,1	3,7 ± 0,3	2,1 ± 0,2	2,1 ± 0,2	3,3 ± 0,1	0,80 ± 0,05
Вуглеводи	54,8 ± 5,0	68,8 ± 6,1	66,1 ± 6,5	64,1 ± 6,5	1,2 ± 0,1	0,50 ± 0,05
в т.ч. інулін	–	–	48,9 ± 4,5	0,90 ± 0,09	–	–
пектинові речовини	0,40 ± 0,04	3,1 ± 0,3	1,6 ± 0,1	4,6 ± 0,4	–	–
Клітковина	10,3 ± 1,0	5,6 ± 0,5	10,0 ± 1,0	10,0 ± 0,9	–	1,5 ± 0,1
Органічні кислоти	2,8 ± 0,2	1,2 ± 0,1	1,9 ± 0,1	2,5 ± 0,2	–	–
Зола	6,5 ± 0,5	5,6 ± 0,5	4,7 ± 0,4	5,7 ± 0,5	2,50 ± 0,05	13,4 ± 1,0
Гемове залізо, г/кг	–	–	–	–	0,12 ± 0,01	0,55 ± 0,05

Показано, зокрема, що ДД «Редгем» за співвідношенням дво- та тривалентного (46% : 54%) і кількістю гемового заліза (0,55 г/кг) має антианемічне спрямування.

У п'ятому розділі «Інноваційні технології харчових продуктів з використанням сушеної харчової продукції» обґрунтовано доцільність та встановлено особливості реалізації сформованого функціонально-технологічного потенціалу СХП, що подано 4 блоками як приклади залучення овочевої СХП, СМН і ДД «Редгем» до технологічних потоків виробництва харчових продуктів.

При реалізації **Блоку 1** «Технологія харчових продуктів полідисперсного типу з овочевою СХП» встановлено, що седиментаційна стійкість, підвищена в'язкість млинчикowego тіста з СХП з капусти, кабачків та топінамбура зумовлені здатністю до набухання біополімерів і капілярів СХП (дисперсність $(50...100) \times 10^{-6}$ м) і надає поліпшених органолептичних, фізико-хімічних показників якості і харчової цінності борошняній страві.

Виявлено, що додавання овочевої СХП сприяє отриманню значно більш в'язкої консистенції і меншої адгезії за однакової вологості контрольного і дослідних зразків тіста.

Оптимізовано процес тістоприготування млинчикowego напівфабрикату: критерій оптимізації – його міцність на розрив (Y), фактори варіювання – масові частки овочевої СХП (x_1) і тривалість вистоювання тіста (x_2); побудовано поверхні відгуку – рис. 4. Міцність на розрив контролю без добавок становить $7,8 \times 10^3$ Па.

Знайдено точки екстремуму для напівфабрикату з СХП:

з капусти – $x_{1max} = 5,1 \%$, $x_{2max} = 4 \times 60$ с, $Y_{max} = 7,8 \times 10^3$ Па;

з топінамбура – $x_{1max} = 7,9 \%$, $x_{2max} = 4 \times 60$ с, $Y_{max} = 9,3 \times 10^3$ Па;

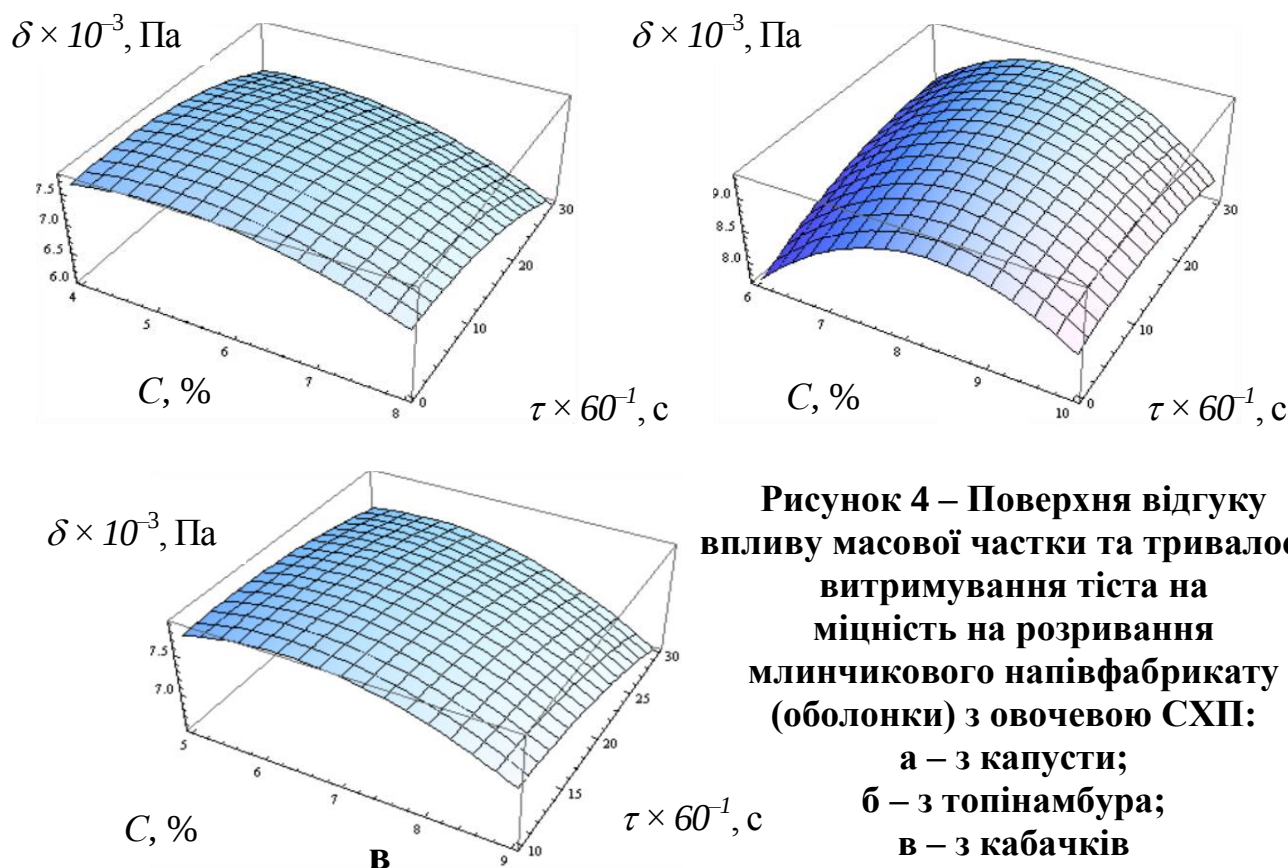
з кабачків – $x_{1max} = 6,3 \%$, $x_{2max} = 12 \times 60$ с, $Y_{max} = 8,0 \times 10^3$ Па.

За функціональною схемою передбачено оптимізовану стадію витримування млинчикowego тіста для змочування та просочування полярними і неполярними рідинами його складових, особливо овочевої СХП. Вилучено цукор білий і частину борошна з рецептури.

Фізико-хімічні показники якості млинчикowego напівфабрикату (оболонки) з овочевою СХП наведено в табл. 6, перелік яких доповнено показником – вміст клітковини, що регламентує внесення вказаної рослинної сировини.

Встановлено, що за показниками мікробіологічної безпеки борошняна страва після 48 год зберігання, що прийнято для даної групи кулінарної продукції, відповідає встановленим вимогам (табл. 7).

Відповідно до мети роботи, за **Блоком 2** «Технологія харчових продуктів полідисперсного типу переважно емульсійної структури з овочевою СХП» для формування органолептичних, структурно-механічних властивостей, підвищення харчової цінності масляної суміші обрано СХП з моркви, отриманої ЗТП-сушінням, з томатів холодного розпилювального сушіння, насіння кунжуту білого. Кунжут перед внесенням до рецептурної суміші диспергували до пастоподібної гомогенної маси, що здатна намащуватись.



Таблиця 6 – Фізико-хімічні показники якості млинчикowego напівфабрикату (оболонки) з овочевою СХП

Млинчиковий напівфабрикат з овочевою СХП	Масова частка вологи, %	Масова частка жиру, %	Масова частка сахарози, %	Вміст клітковини, %	Кислотність, град.
контроль – без добавок	44,0 ± 2,5	7,1 ± 0,5	7,7 ± 0,7	0,10 ± 0,01	2,0 ± 0,2
з капусти	44,8 ± 2,0	6,8 ± 0,5	10,0 ± 1,0	1,9 ± 0,1	2,3 ± 0,2
з кабачків	44,4 ± 4,2	7,0 ± 0,5	9,4 ± 0,9	1,5 ± 0,1	2,2 ± 0,2
з топінамбура	44,5 ± 3,7	6,8 ± 0,3	10,0 ± 0,9	1,9 ± 0,1	2,0 ± 0,2

Таблиця 7 – Мікробіологічні показники безпеки млинчикowego напівфабрикату (оболонки) з овочевою СХП після зберігання

Найменування показника	Норматив	Фактично визначені в млинчиковому напівфабрикаті з овочевою СХП		
		з капусти	з кабачків	з топінамбура
КМАФАМ, КУО, в 1 г, не більше	1 × 10 ⁴	1 × 10 ¹	1 × 10 ¹	1 × 10 ²
БГКП (коліформи), в 0,1 г	Не дозв.	Не виявлено		
Патогенні мікроорганізми, в т.ч. роду Сальмонела, в 25 г	Не дозв.	Не виявлено		
Дріжджі, КУО / г, не більше	10	Не виявлено		
Плісняві гриби, КУО / г, не більше	10	Не виявлено		

Мікроструктурними дослідженнями виявлено ділянки з формуванням різних за будовою структур та утворення прошарків на поверхні структурних елементів, що вказують на високу здатність компонентів кунжуту взаємодіяти з водною фазою.

Основою нової масляної суміші є масло вершкове; для формування її відповідної структури овочевої СХП відновлювали у молоці пастеризованому жирністю 3,2 % (гідромодуль 1 : 2,5); для підвищення біологічної цінності суміші обрано молоко сухе незбиране у дозуванні 2 % до маси рецептурної композиції. Оптимізовано рецептуру суміші за комплексним показником групи органолептичних властивостей, відн. од.; фактори варіювання: x_1 – дозування СХП з томатів, x_2 – з моркви, x_3 – насіння кунжуту.

Отримано модель: $Y = -1,8146 + 8,525 x_1 + 0,0179 x_2 - 8,625 x_1^2 - 0,0007 x_2^2 - 0,005 x_1 x_2$ і точки екстремуму: $x_1 = 8$ % СХП з томатів, $x_2 = 2$ % СХП з моркви, $x_3 = 4$ % насіння кунжуту до маси рецептурної суміші, за яких $Y = 0,94$ відн. од.

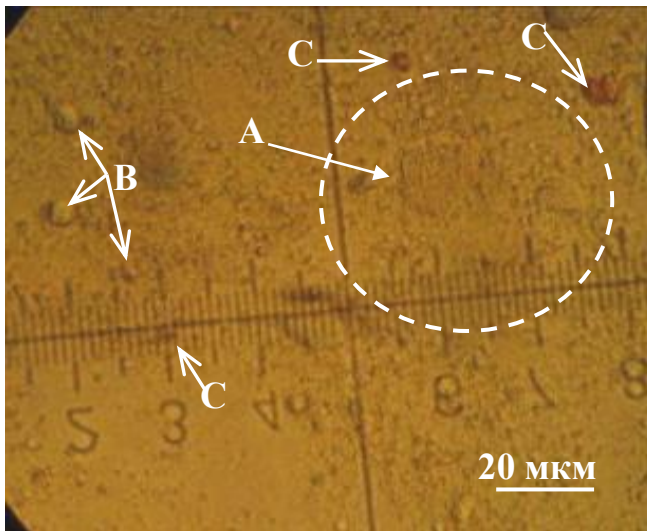
Виявлено, що під час зберігання масляної суміші з СХП відбувається зростання коефіцієнта термостійкості та виділяється менша кількість рідкого жиру порівняно з контролем (масло зелене – суміш вершкового масла з посіченою зеленню). Отримані дані вказують на взаємодію компонентів збагаченої суміші між собою, з водною та жирною фазами, залучення легкоплавких гліцеридів (ЛПГ) рослинних жирів до процесів кристалізації.

Такі додаткові коагуляційні зв'язки сприяють формуванню вторинної просторової сітки та, відповідно, надають здатності утримувати рідкий жир, формуванню кращих тиксотропних властивостей, високодиспергованого та рівномірного розміщення водної фази в структурі інноваційної масляної суміші порівняно з контролем.

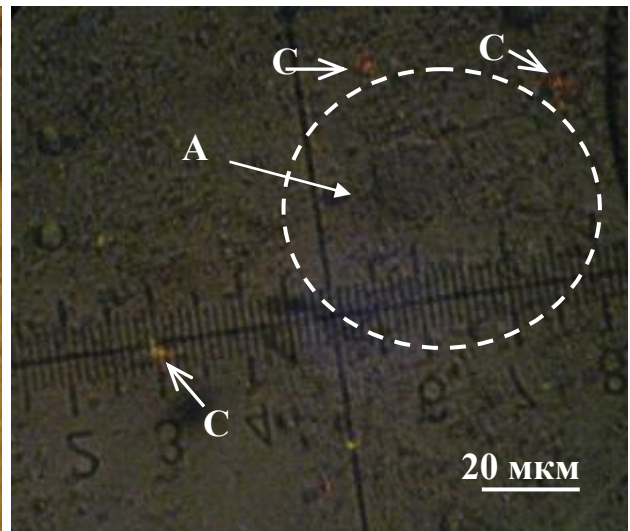
На рис. 5 (а та в) наведено знімки мікроструктури масляної суміші з частинками овочевої СХП, що представлені залишками провідних **С** та запасних **Д** тканин. У поляризованому світлі (рис. 5, б та г) за температури 18 °С поверхня частинок СХП має яскравий світло-жовтий та світло-оранжевий колір, що вказує на взаємозв'язок компонентів СХП з жирною фазою масляної суміші та утворення на поверхні її частинок кристалізаційних структур з високо- (ВПГ) та середньоплавких (СПГ) гліцеридів.

У поляризованому світлі (рис. 5, г) видно агломерат **Г** з комірчастою будовою, на гранях якого розміщуються лінійні кристалічні структури; у світлі на проходження (рис. 5, а) також виявлено агломерат **А**, сформований із щільно упакованих багатогранників неправильної форми, характерною особливістю якого є прошарки міцнозв'язаної вологи на поверхні його граней.

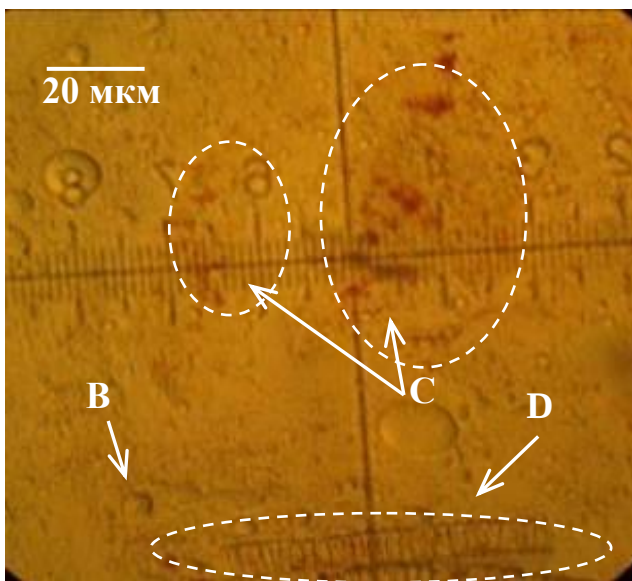
Отже, мікроструктурним аналізом показано утворення додаткових коагуляційних зв'язків компонентів овочевої СХП і кунжуту у концентрованій емульсії, формування агломератів з комірчастою будовою, що сприяє формуванню вторинної просторової сітки і стабілізації тим самим структури масляної суміші з біогенним комплексом рослинної сировини.



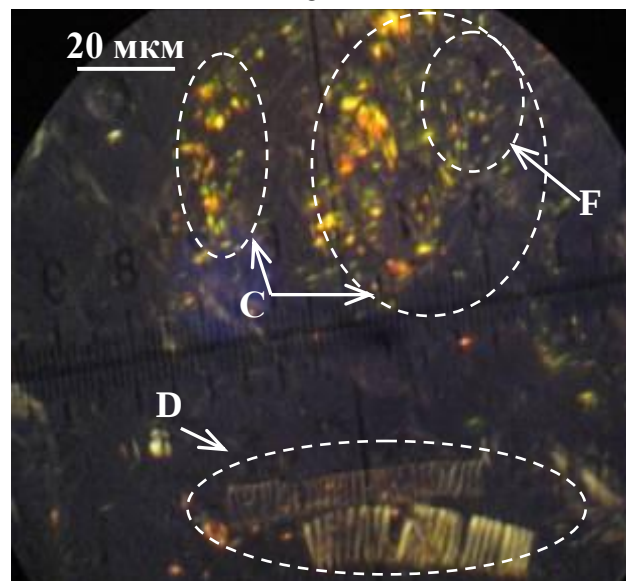
а



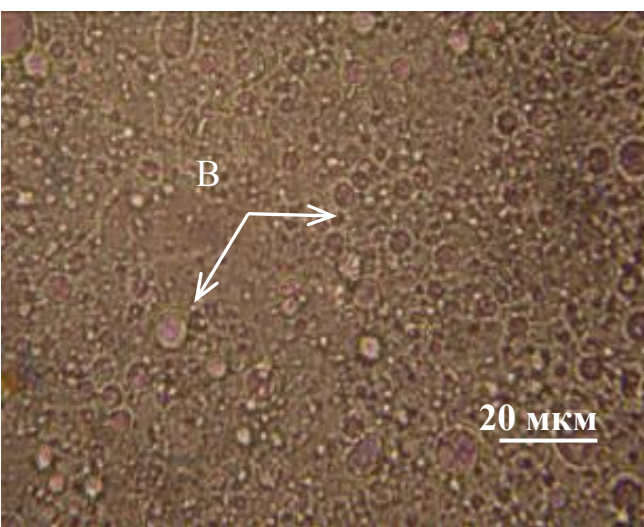
б



в



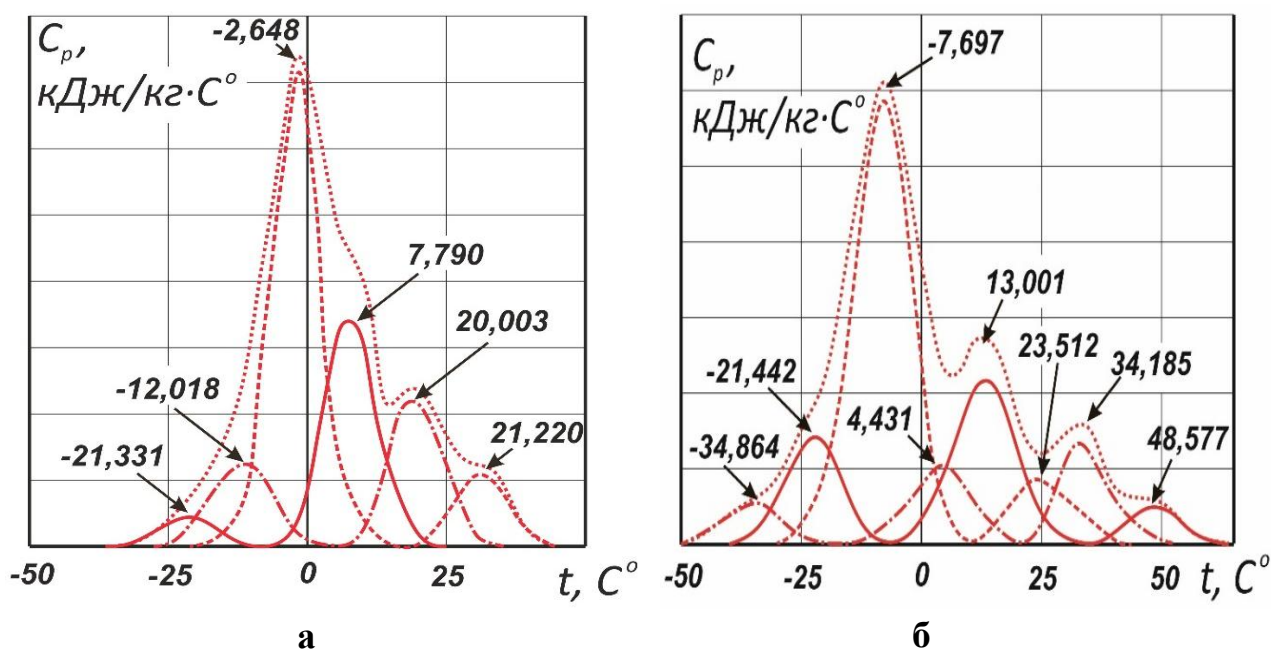
г



д

**Рисунок 5 – Мікроструктура
масляної суміші
з овочевою СХП (× 400):
а, в – у світлі «на проходження»;
б, г, д – у поляризованому світлі;
А, F – агломерати з комірчастою
структурою;
В – краплини плазми;
С – частинки запасних та
D – провідних тканин овочевої СХП**

Зміни жирової фази масляної суміші, яка зберігалась 3 доби за температури $(6 \pm 1) ^\circ\text{C}$, вивчали методом диференційної скануючої калориметрії (рис. 6).



**Рисунок 6 – Ендотерми плавлення кристалічних фаз масляної суміші:
а – контроль (масло зелене); б – з овочевою СХП**

За ендотермами плавлення (рис. 6) встановлено, що внесення до масляної суміші СХП з моркви та томатів, спеціально підготовленого кунжуту за рахунок утримання складовими і порами овочевої СХП жиру приводить до інтенсифікації процесів перекристалізації та диференціації груп ЛПГ і СПГ у кристалічній жировій фазі збагаченої масляної суміші впродовж зберігання.

Функціональна схема виробництва масляної суміші передбачає відновлення овочевої СХП у молоці, отримання однорідної рецептурної композиції – рис. 7.

Досліджено стійкість до окиснення масляної суміші з овочевою СХП і кунжутом за функціональними числами і мікробіологічними показниками безпеки. Встановлено, що оптимізована комбінація СХП дозволяє забезпечити якість продукції впродовж 8 діб зберігання в умовах: температура (0...8) °C і відносна вологість повітря 75 %.

Збагачена масляна суміш є продуктом підвищеної харчової цінності, що зумовлено есенціальними нутрієнтами рослинної сировини, молочних продуктів, зокрема, за вмістом мінеральних речовин (табл. 8).

Відзначено збільшення білка в 3,5 рази, органічних кислот в 4,5 рази, β -каротину в 2,6 разів, вітамінів B_1 – в 14,0 разів, B_2 – в 23,8 разів, РР – в 37,0 разів, натрію в 24,0 рази (40 % добової потреби), калію – в 5,6 рази (40 %), кальцію – в 2,8 разів (10 %), магнію – в 3,8 разів (20 %), фосфору – в 4,2 рази (15 %), заліза – в 7,6 рази (30 %) порівняно з контролем.

Таким чином, за Блоком 2 реалізуються майже всі потенціали й фазові взаємодії, що виявлено за класифікацією в табл. 1: доведено взаємодію компонентів овочевої СХП і кунжуту з жировою та водною фазами, формування агломератів з комірчастою будовою, інтенсифікацію процесів перекристалізації та диференціації груп ЛПГ і СПГ у кристалічній жировій фазі масляної суміші.

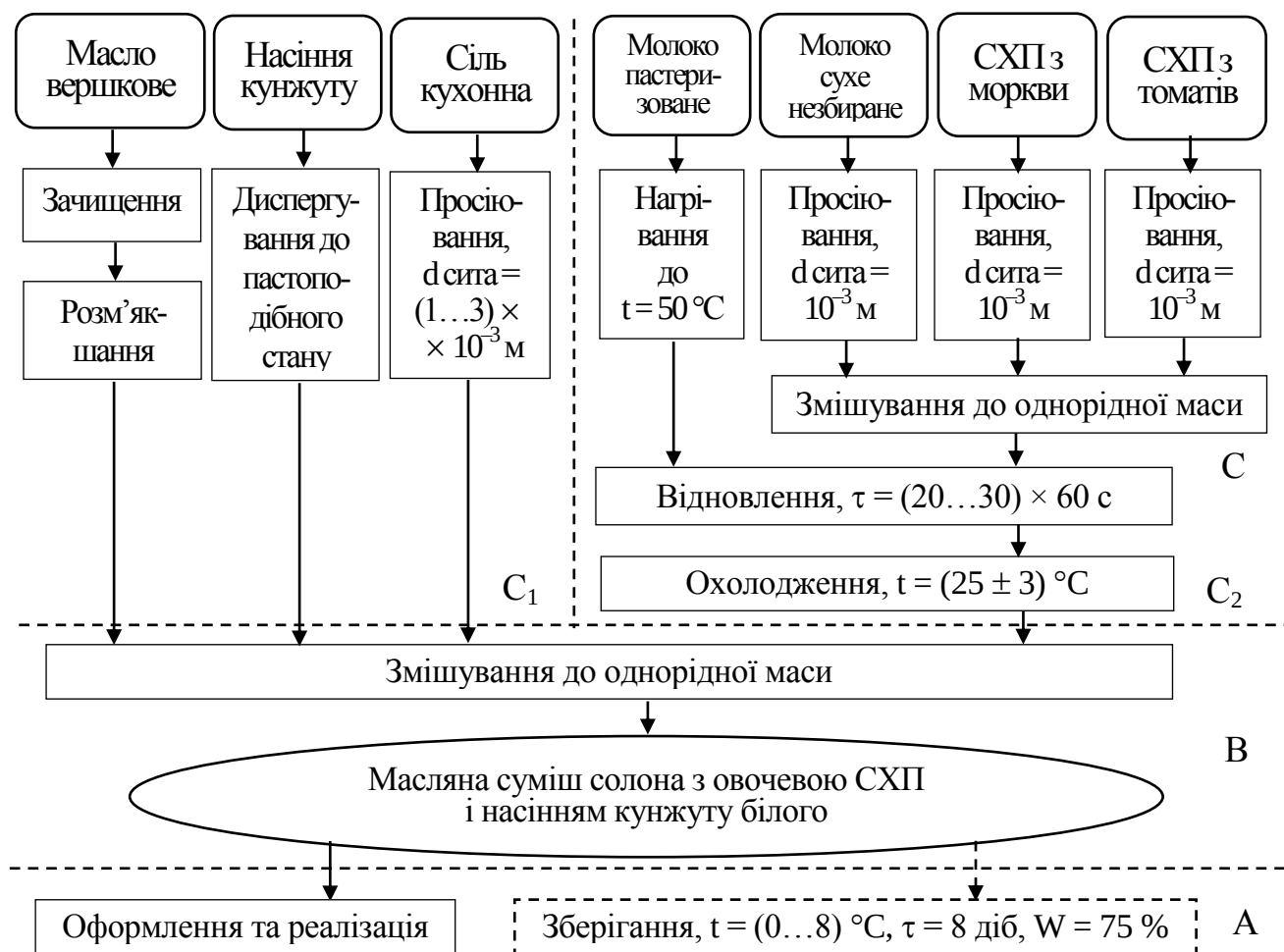


Рисунок 7 – Функціональна схема виробництва масляної суміші солонної з овочевою СХП і насінням кунжуту білого: С – Підготовка сировини до виробництва (С₁ – традиційних інгредієнтів; С₂ – інноваційних інгредієнтів рецептури); В – Приготування рецептурної композиції; А – Оформлення та реалізація масляної суміші

Таблиця 8 – Мінеральний склад масляної суміші з овочевою СХП і насінням кунжуту

Мінеральний елемент	Вміст в масляній суміші, мг на 100 г	
	масло зелене – контроль	з овочевою СХП і насінням кунжуту білого
Натрій	19,0 ± 1,5	455 ± 40
Калій	70,0 ± 6,5	391 ± 32
Кальцій	50,0 ± 4,5	138 ± 12
Магній	14,0 ± 1,4	53 ± 5
Фосфор	27,0 ± 2,5	113 ± 11
Залізо	0,48 ± 0,04	3,7 ± 0,3

Згідно з **Блоком 3** «Технологія гарячих соусів полідисперсного типу з СМН», обґрунтовано залучення СМН як напівфабрикату високого ступеня готовності до інноваційного технологічного потоку виробництва гарячих соусів, що є актуальним для закладів ресторанного господарства. Встановлено, що раціональною є масова частка напівфабрикату 10 % до маси соусу, яка забезпечує його необхідні органолептичні і структурно-механічні властивості.

Доведено, що за дисперсності $(30...60) \times 10^{-6}$ м граничне напруження зсуву і в'язкість соусу збільшуються, що визначає його технологічне призначення для широкого асортименту страв. Показано, що седиментаційна стійкість в соусах з СМН зумовлена активаційними процесами, які зазвичай описують рівнянням Арреніуса:

$$\eta \sim \eta_0 \exp(-E_a / k T) \quad (10),$$

де η_0 – динамічна в'язкість за стандартних умов, Па · с; E_a – енергія активації, кДж/моль; k – стала Больцмана; T – температура, °С.

За підвищення температури соусу в'язкість його знижується, що призводить до збільшення седиментації. Встановлено, що найвище значення агрегативної стійкості (АС) у зразка соусу (рис. 9) з СМН з розміром частинок $(30...60) \times 10^{-6}$ м і становить 73,3 %.

Отже, властивість СМН з високою дисперсністю виявляти стійкість до седиментації і АС зумовлена збільшенням при його диспергуванні питомої поверхні взаємодії частинок, гідрофільними і гідрофобними центрами, що взаємодіють з водою та жиром одночасно і виступають як поверхнево-активні речовини, сформованою капілярно-пориною структурою.

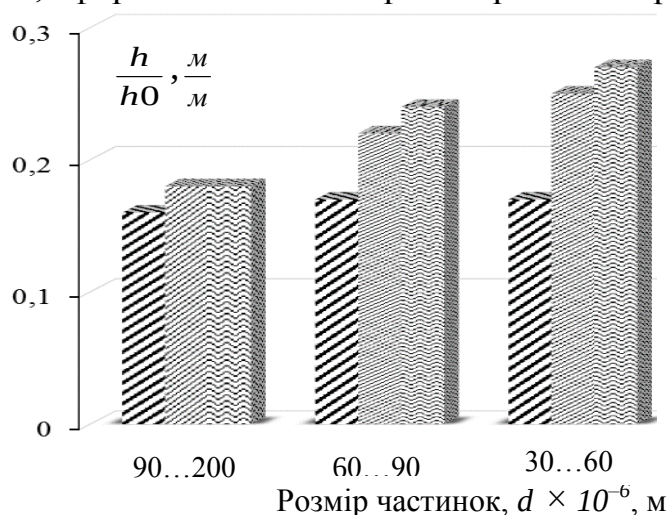


Рисунок 8 – Седиментаційна стійкість гарячих соусів з СМН різної дисперсності, температури та часу його виготовлення: $\diagdown$ – безпосередньо після виготовлення; ($t = (80 \pm 2)^\circ\text{C}$); $\boxtimes$ – через 60² с після виготовлення ($t = (65 \pm 2)^\circ\text{C}$); $\approx$ – через 48 × 60² с після виготовлення ($t = (8 \pm 2)^\circ\text{C}$)

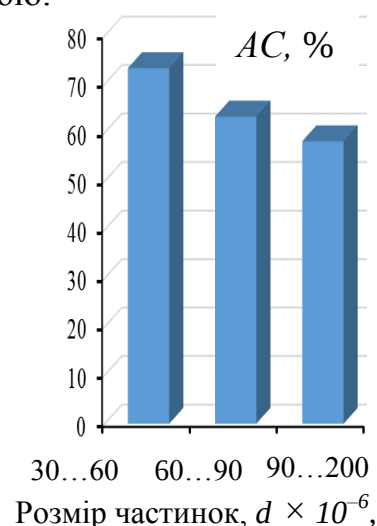


Рисунок 9 – Агрегативна стійкість гарячих соусів з СМН різної дисперсності

Показано, що новий гарячий соус містить в 2,3 рази більше білка за однакової кількості жиру та зменшену кількість вуглеводів за рахунок додавання СМН порівняно з контролем – соусом білим.

Технологія гарячого соусу з СМН передбачає відновлення напівфабрикату в розчині кухонної солі і принципово спрощена на відміну від базової технології.

За Блоком 4 «Технологія харчових продуктів полідисперсного типу з ДД «Редгем»», представлено результати дослідження з залучення ДД «Редгем» до технологічного потоку виробництва борошняних кондитерських виробів функціонального призначення.

Згідно з фізіологічними нормами потреб населення України у мінеральних речовинах, запропоновано кекси з ДД «Редгем» як додаткове джерело гемового заліза: для масового споживання 4 %, лікувально-профілактичного 6 % і лікувального призначення 8 % добавки до маси рецептурної суміші. Проте показано, що ДД «Редгем» негативно впливає на властивості клейковини і тіста, і, відповідно, на якість кексів, спричиняє скорочення їх терміну зберігання за показниками крихкуватості та загальної деформації м'якушка. Крім того, дозування 8 % добавки призводить до прояву стороннього присмаку в кексах.

З огляду на це, для отримання кексів з 4 та 6 % ДД «Редгем» обрано поліпшувач зі спрямованою технологічною функцією – поверхнево-активну речовину (ПАР) – ефір лимонної кислоти моно-, дигліцерид жирних кислот (Е 472 с) (виробник фірма «Даніско», Німеччина) в дозуванні 1 % до маси суміші, що також містить антиоксиданти: α -токоферол (0,3 %) і аскорбілпальмітат (0,3 %).

Встановлено, що тісто з ДД «Редгем» без ПАР має значення граничного напруження зсуву в 1,8 разів менше, ніж у контрольного зразка – рис. 10.

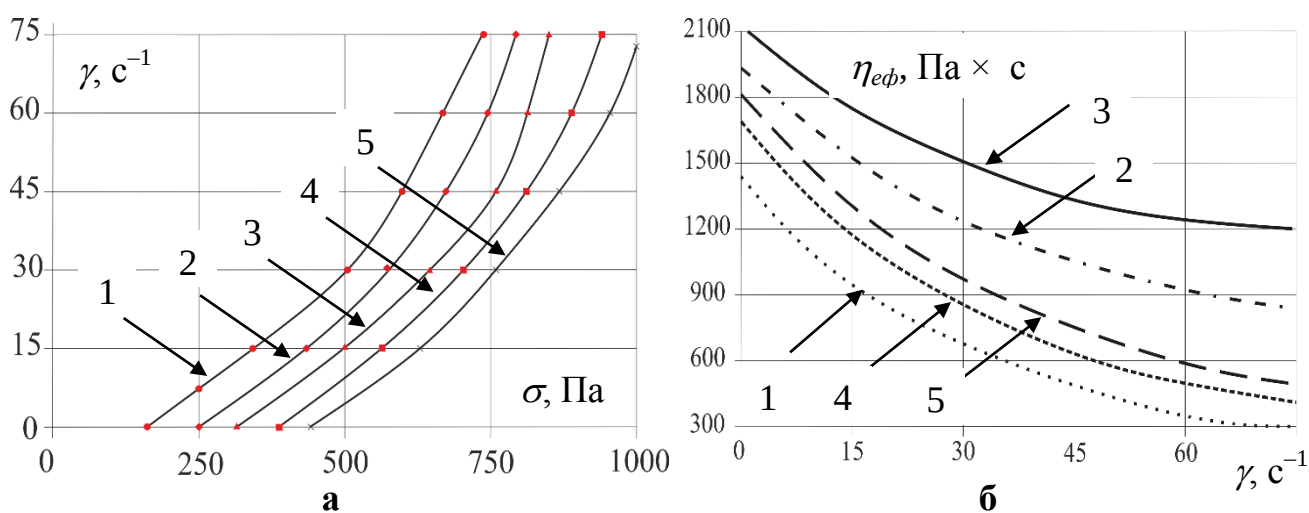


Рисунок 10 – Граничне напруження зсуву (а) та динамічна в'язкість тіста (б):

1 – контроль; 2 – з 4 % ДД «Редгем»;

3 – з 4 % ДД «Редгем» і ПАР; 4 – з 6 % ДД «Редгем» і ПАР

Аналогічна тенденція виявляється і для показника в'язкості тіста, що пов'язане з низькими значеннями вологоутримуючої та емульгуючої здатностей добавки, яка спричиняє розрідження тіста. Додавання аніонактивної ПАР сприяє зміцненню майже незруйнованої структури тіста ($\gamma = 50 \text{ c}^{-1}$) у 1,7...2,3 рази; характеру знижує значення показника адгезії порівняно з тістом без ПАР і наближенню значень на рівні контролю.

Питомий об'єм кексів зростає в 1,1 рази від зразків, що не містять ПАР, і на 3 % порівняно з контролем. Стійкість до черствіння за показником крихкуватості в кексах з ДД «Редгем» 4 і 6 % до маси рецептурної суміші і ПАР збільшується в 1,5 і 1,4 рази відповідно, за загальною деформацією м'якушка через 7 діб зберігання – в 1,1 та 1,2 рази відповідно. ПАР позитивно впливає на збереженість двовалентного заліза під час випікання і зберігання.

Мікроскопічним методом досліджено структуру модельних систем (рис. 11), що складаються з ДД «Редгем» і ПАР як 4 : 1 та 6 : 1, аналогічно рецептурній композиції кексів.

При порівнянні частинок ДД «Редгем» *per se* і в комплексі з ПАР (рис. 11, а–д) спостерігається огортання кожної частинки або агрегованих її частинок поверхнево-активною речовиною. При цьому на поверхні частинки утворюється оболонка, яка щільно огортає її за об'ємом, запобігаючи впливу кисню повітря.

Дію ПАР можна пояснити з позицій: по-перше, поверхня частинок ДД «Редгем» характеризується наявністю гідрофобних груп, що утворились в ході термічної коагуляції білків крові ВРХ, тому виникають гідрофобні взаємодії на поверхні частинки добавки і гідрофобного кінця ПАР.

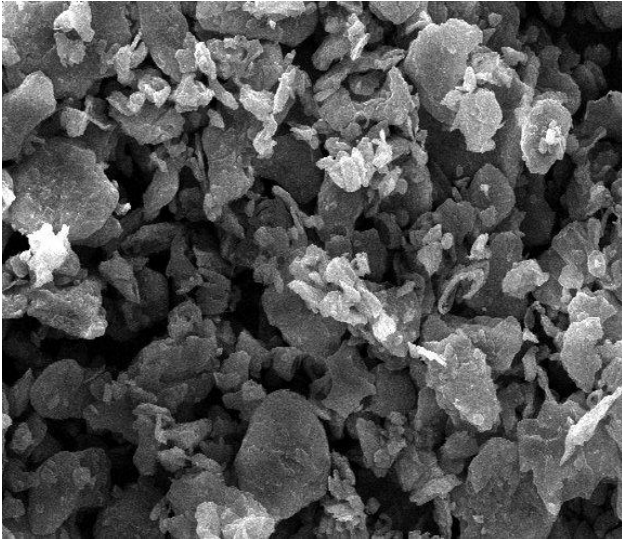
По-друге, ДД «Редгем» має сформовану в ході ЗТП-сушіння капілярно-пористу структуру, що передбачає просочування і утримування поверхнею і порами пастоподібної жироміщуючої ПАР.

По-третє, гетерогенність частинок ДД «Редгем» без ПАР підвищує енергію активації, що викликає відсутність взаємодії між частинками, в той час як її сферична форма з ПАР сприяє зменшенню питомої поверхні взаємодії за максимального об'єму.

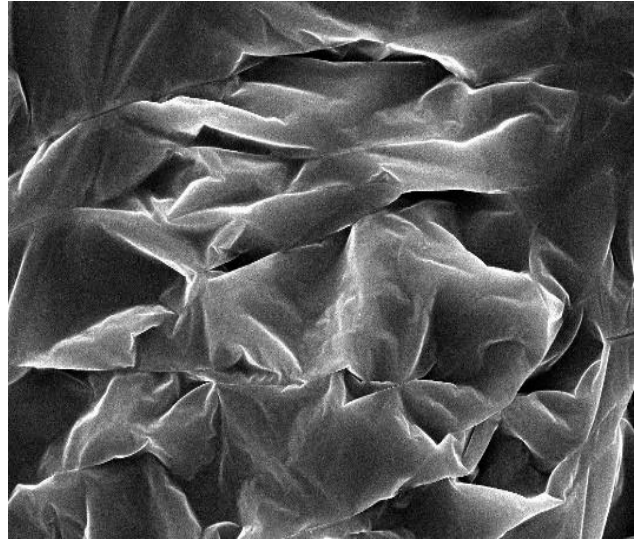
Отримані результати підтверджують фазові взаємодії СХП і ПАР (табл. 1): частинки добавки огортаються шаром плівки, що дозволяє стабілізувати технологічні і фізіологічні властивості тіста і готової продукції, в тому числі при зберіганні.

Для адекватності практичної реалізації технології кексів антианемічного спрямування розроблено проміжний напівфабрикат – суспензію, що складається з ДД «Редгем» і ПАР.

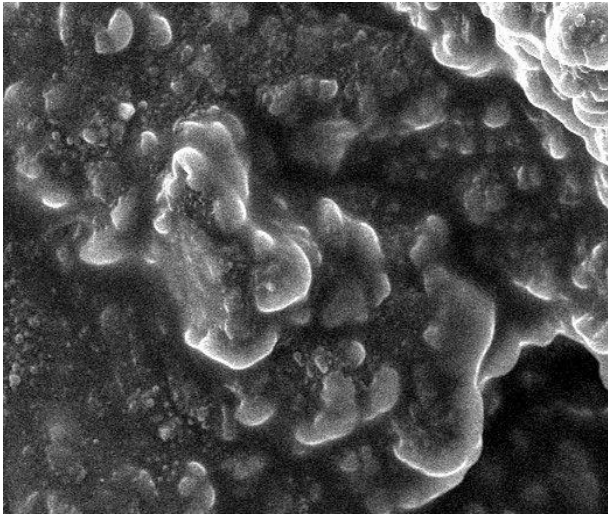
Оскільки ДД «Редгем» є білокміщуючою добавкою, то при заміні частини борошна при її додаванні необхідним було визначення перетравлення *in vitro* білків виробів. З рис. 12 видно, що білки кексів, у рецептурі яких використано ДД «Редгем», гідролізуються в 1,1 та 1,3 разів краще.



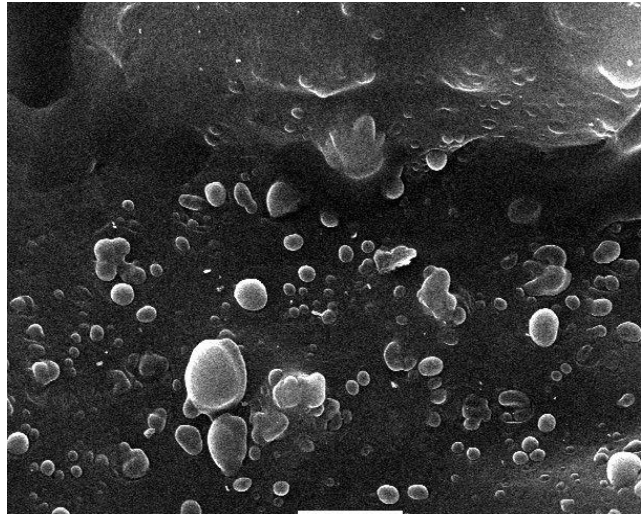
частинки ДД «Редгем» ($\times 200$)



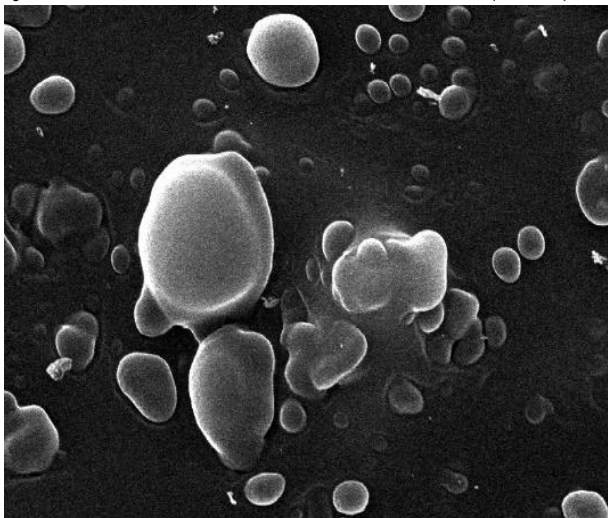
ПАР (висушена ліофільним способом) ($\times 750$)



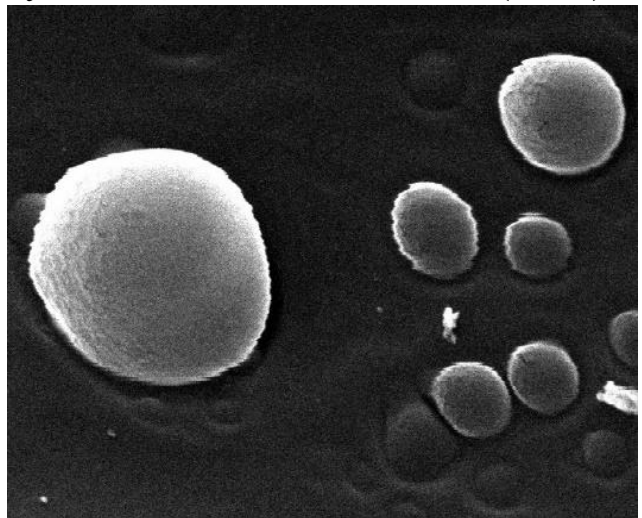
суспензія ДД «Редгем» і ПАР як 4 : 1 ($\times 200$)



суспензія ДД «Редгем» і ПАР як 4 : 1 ($\times 1000$)

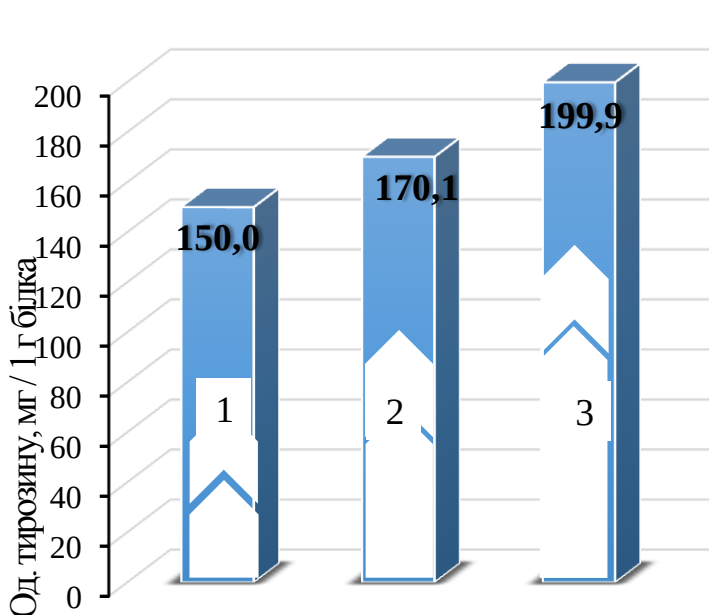


частинки суспензії ДД «Редгем» і ПАР як 4 : 1
($\times 3000$)



частинки суспензії ДД «Редгем» і ПАР як 4 : 1
($\times 10000$)

Рисунок 11 – Мікроструктура частинок ДД «Редгем» з ПАР



Отже, здійснено комплекс досліджень з реалізації сформованого функціонально-технологічного потенціалу СХП в технологічних потоках виробництва харчових продуктів, за результатами яких показано їх інвестиційну привабливість щодо комерціалізації, що доводиться економічними розрахунками.

Рисунок 12 – Перетравлення білків кексів *in vitro*: 1 – кекс горіховий – контроль; 2 – з 4 % ДД «Редгем» і ПАР; 3 – з 6 % ДД «Редгем» і ПАР

У шостому розділі «Оцінка інвестиційного потенціалу технологій сушеної харчової продукції і харчових продуктів з її використанням» обґрунтовано методологією оцінювання економічного ефекту наукової розробки, доведено ефективність створення інноваційного технологічного потоку харчових продуктів з залученням СХП.

Сучасний етап розвитку національної економіки свідчить про зростання ролі наукових розробок у забезпеченні ефективного функціонування підприємств, у тому числі виробників харчових продуктів.

Впровадження наукоємних харчових технологій з використанням СХП зумовлює розширення існуючих і створення нових ринків збуту та збільшення обсягів виробництва, що позитивно впливає на конкурентоспроможність інноваційно-активних підприємств.

Показано, що виробництво СХП та харчових продуктів з її використанням за наукоємними технологіями позитивно впливає як на розвиток підприємств харчового комплексу, так і підприємств інших видів економічної діяльності, стимулюючи впровадження наукових досліджень та інвестицій в суміжні сектори економіки.

Визначено інвестиційний потенціал технології СХП та харчових продуктів з її використанням за алгоритмом, що наведено на рис. 13.

Розрахунки здійснено за сукупністю показників, які сформовано з дотриманням критеріїв наукоємності продукції, а також науково-технічного значення розробки та її інвестиційної привабливості щодо комерціалізації.

Доведено високий рівень наукоємності технологій СХП за підвищенням величини даного коефіцієнта порівняно з аналогічним показником за підприємствами харчової промисловості.

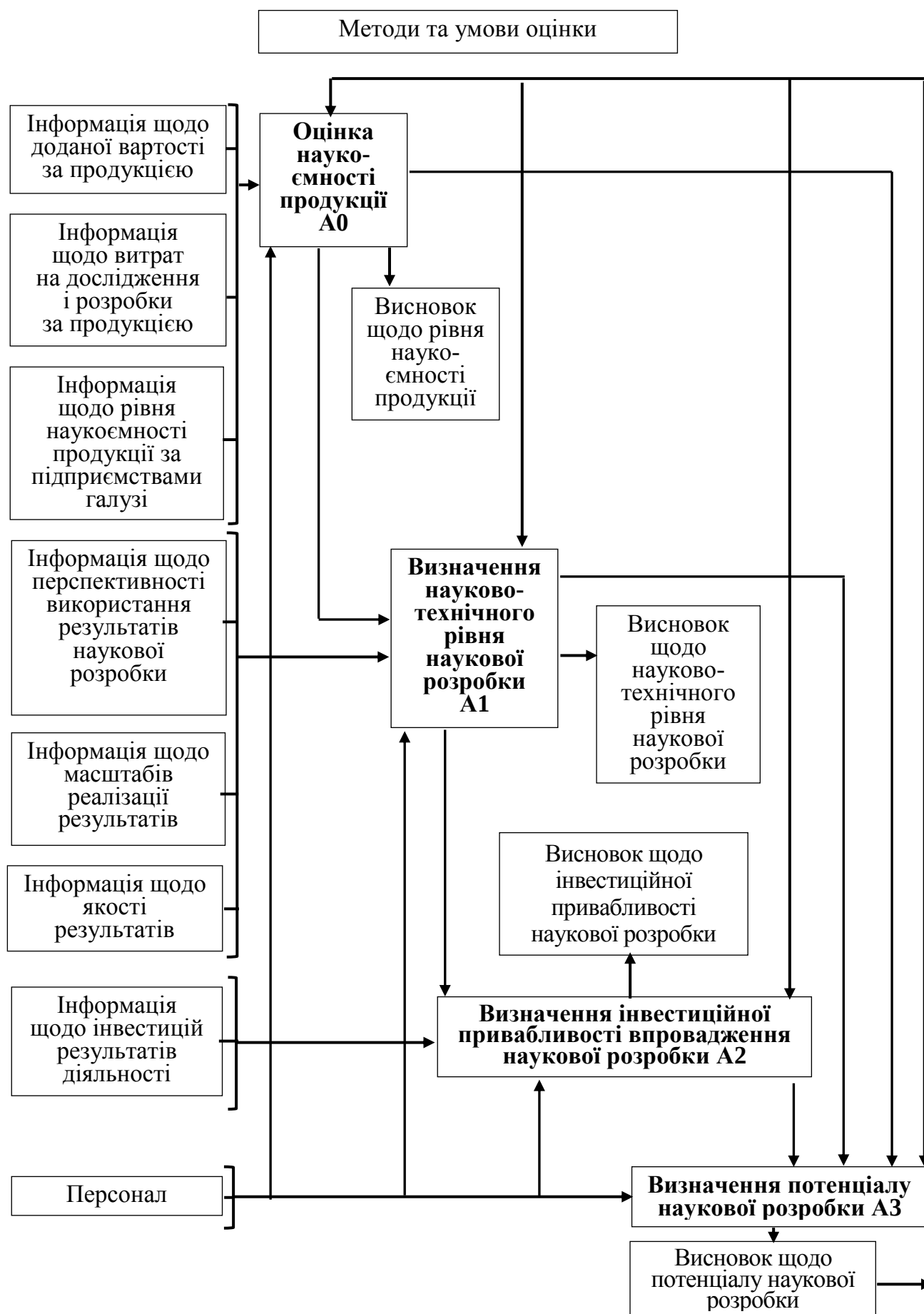


Рисунок 13 – Оцінка інвестиційного потенціалу технологій СХП та харчових продуктів з її використанням

Коефіцієнт науково-технічної результативності наукової розробки близький до максимального значення, а період окупності за попередніми оцінками становить 2,0...2,5 роки, що доводить високий рівень потенціалу розробки як об'єкта комерціалізації та його інвестиційну привабливість.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. З аналізу огляду літературних джерел встановлено, що за умов використання сучасних способів зберігання і переробки харчової сировини, які є енергоємними і потребують спеціального та додаткового обладнання, виникають технологічні і економічні проблеми. Вирішення актуальної проблеми спрямоване на розроблення інноваційних наукоємних технологій з залученням СХП до технологічних потоків харчової індустрії. З точки зору збереження харчової і біологічної цінності, забезпечення відповідних відновлювальних властивостей СХП та енергоємності процесу, найбільш перспективним є ЗТП-сушіння.

2. Основою розроблення, удосконалення та інтенсифікації технологій харчових продуктів є залучення СХП з заданими функціонально-технологічними властивостями, що формуються в процесі сушіння і характеризуються гідратаційною, жирутримуючою, емульгуючою здатностями, числом аромату, стійкістю при зберіганні, певною дисперсністю.

3. Обґрунтовано вибір сировини рослинного, тваринного походження та їх комбінування, операції і параметри попереднього теплового оброблення – варіння на парі м'ясної сировини ($t = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 102 \times 60\text{ с}$), бланшування овочевої сировини ($t = (98 \pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = (1...2) \times 60\text{ с}$), подрібнення сушених плодів шипшини до фракцій з розмірами $(30...60) \times 10^{-6}\text{ м}$ і змішування з кров'ю ВРХ. Визначено раціональні режими (температура та тривалість) ЗТП-сушіння СХП, що забезпечують високі регідратаційні властивості: м'яса – $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ і $80 \times 60\text{ с}$, капусти – $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ і $98 \times 60\text{ с}$, кабачків – $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ і $74 \times 60\text{ с}$, топінамбура – $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ і $70 \times 60\text{ с}$, моркви – $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ і $76 \times 60\text{ с}$, пасти з крові ВРХ і порошку з плодів шипшини – $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ і $100 \times 60\text{ с}$.

4. Рентгеноструктурним аналізом встановлено, що за раціональних і ощадних режимів ЗТП-сушіння відбувається формування більш крихкої поруватої структури з кристалічною структурою полісахаридів овочевої СХП на відміну від ущільнених зразків конвективного способу. Встановлені закономірності є обґрунтуванням для диспергування (подрібнення) СХП з метою залучення до технологічних потоків виробництва харчових продуктів.

5. Використання ЗТП-сушіння сприяє формуванню регідратаційних властивостей овочевої СХП, що відрізняються більшою на 6,4...8,4 % здатністю зв'язувати вологу міцними зв'язками, а СМН і паста з крові ВРХ і порошком з плодів шипшини мають на 7,4 та 11,0 % відповідно менше слабкозв'язаної вологи, ніж у м'ясі конвективного сушіння. Цей факт доводить стійкість до мікробного псування і відповідно більші терміни зберігання СХП, що сприяє ресурсозбереженню.

6. Досліджено здатність до диспергування СХП до грубодисперсної та мікрогетерогенної фаз. Визначено, що раціональними величинами дисперсності, з точки зору формування функціонально-технологічних властивостей, є (за фракціями з розміром частинок, $d \times 10^{-6}$, м): СМН – (90...200), (60...90) і (30...60); висушених овочів та пасти з крові ВРХ і порошком з плодів шипшини – (50...100), (30...50), (10...30).

7. Гідрофобні частинки СМН і ДД «Редгем», що складаються переважно з коагульованого білка, слабо адсорбують водяну пару. Для СХП з капусти, кабачків, топінамбура та моркви явище змочування зумовлене нерівністю $\cos \theta > 0$ ($\theta < 90^\circ$) і відповідає комбінації змочування–просочування.

8. За комплексного дослідження капілярно-пористої структури СХП тензометричним методом, порометрією на установці Мак-Бена, ртутною порометрією визначено закономірності формування пор. Структура овочевої СХП, сформована ЗТП-сушінням, характеризується дрібними порами за температури сушильного агента 50°C і більшого в 1,2...1,5 рази розміру – за 70°C .

При конвективному сушінні СХП внаслідок усадки при зневодненні зміни при сорбції та десорбції незначні. При ЗТП-сушінні в процесі сорбції парів СХП добре відновлюється, капіляри набухають, тому диференційна функція розподілу пор розширюється, середній радіус капілярів збільшується, що доводить її поліпшені функціонально-технологічні властивості.

9. Складено та проаналізовано математичні моделі щодо концепції формування функціонально-технологічних властивостей СХП; оптимізовано комплексні показники СХП за властивостями (коефіцієнт водопоглинання, вологоутримуча, жирутримуюча та емульгуюча здатності, агрегативна стійкість, число аромату, кількість гемового заліза) залежно від температури ЗТП-сушіння та розміру частинок: для СХП з капусти 50°C , кабачків 64°C , топінамбура 67°C , моркви 68°C , ДД «Редгем» 69°C за дисперсності $(10...30) \times 10^{-6}$ м; СМН 64°C , $(30...60) \times 10^{-6}$ м. Обґрунтовано з урахуванням коефіцієнту вагомості технологічне призначення СХП для різних дисперсних систем.

10. На підставі органолептичних, мікробіологічних та тензометричних досліджень визначено раціональні умови зберігання овочевої СХП: за температури $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ та відносної вологості повітря 70 % в поліетиленовому пакуванні не більше 6 міс., у вакуумному – не більше 12 міс.; СМН і ДД «Редгем» не більше 12 і 24 міс. відповідно.

11. Розроблено науково обґрунтовані рекомендації з виробництва СХП за використання ЗТП-сушіння. Досліджено хімічний склад, показники якості та безпеки. Показано, що хімічний склад СМН представлений високим вмістом білка ($86 \pm 8\%$), відрізняється низькими вологовмістом ($7,0 \pm 0,7\%$) та вмістом жиру ($3,3 \pm 0,3\%$). Доведено, що ДД «Редгем» характеризується співвідношенням дво- та тривалентного ($46\% : 54\%$) і кількістю гемового заліза ($0,55$ г /кг), що надає добавці функціонального призначення. За показниками безпеки СХП не перевищує нормативів.

12. Запропоновано комплексне залучення СХП до технологічного потоку виробництва харчових продуктів як напівфабрикату високого ступеня готовності і інгредієнта з заданими функціонально-технологічними властивостями.

Встановлено, що седиментаційна стабільність, в'язкість рідиноподібних тістових систем зумовлені, зокрема, здатністю до набухання біополімерів СХП з капусти, кабачків, топінамбура, що надає борошняній страві певних структурно-механічних властивостей. Оптимізовано процес тістоприготування млинчикowego напівфабрикату: в якості критерію оптимізації обрано міцність на розрив напівфабрикату (Y), факторів варіювання – дозування овочевої СХП (x_1), % і тривалість вистоювання тіста (x_2), с. Точки екстремуму для напівфабрикату з овочевою СХП становлять: з капусти $x_{1max} = 5,1$ %, $x_{2max} = 4 \times 60$ с, $Y_{max} = 7,8 \times 10^3$, Па; з топінамбура – $x_{1max} = 7,9$ %, $x_{2max} = 4 \times 60$ с, $Y_{max} = 9,3 \times 10^3$, Па; з кабачків – $x_{1max} = 6,3$ %, $x_{2max} = 12 \times 60$ с, $Y_{max} = 8,0 \times 10^3$, Па.

Методом мікроструктурного аналізу показано взаємодію компонентів овочевої СХП з жировою і водною фазами масляної суміші та виявлено формування агломератів з комірчастою будовою. Диференційною скануючою калориметрією встановлено, що за рахунок утримання жиру складовими і порами овочевої СХП відбувається інтенсифікація процесів перекристалізації та диференціації груп ЛПГ і СПГ у її кристалічній жировій фазі.

Доведено, що за дисперсності СМН $(30...60) \times 10^{-6}$ м граничне напруження зсуву і в'язкість гарячого соусу збільшуються, що визначає його технологічне призначення для широкого асортименту страв.

Встановлено поверхневі взаємодії частинок ДД «Редгем» з поверхнево-активною речовиною, яка створює оболонку, що щільно огортає частинку і сприяє утворенню енергетично найбільш «вигідної» для взаємодії між частинками дисперсної фази сферичної форми.

13. Розроблено нормативну документацію і здійснено апробацію інноваційних технологій харчових продуктів з СХП в умовах виробництва. Обґрунтовано методологію оцінювання економіко-технологічного потенціалу наукової розробки інноваційних технологій СХП і харчових продуктів з її використанням. Визначено високий рівень наукоємності даних технологій, що підтверджують високі значення коефіцієнта наукоємності СХП порівняно з аналогічним показником за підприємствами харчової промисловості. Коефіцієнт науково-технічної результативності наукової розробки наближений до максимального значення, а період окупності, за попередніми оцінками, становить 2,0...2,5 роки, що доводить високий рівень потенціалу розробки як об'єкта комерціалізації та її інвестиційну привабливість.

На технічні рішення, запропоновані у дисертаційній роботі, отримано 7 патентів України на корисну модель і 4 на винахід.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Стаття у колективній монографії

1. Євлаш, В. В., Максименко, А. Є., Тарасенко, Т. А., & Неміріч О. В. (2015). *Формування функціонально-технологічних властивостей м'яса і овочів під час ЗТП-сушіння і їх використання в технологіях харчових продуктів. Повноцінне харчування: інноваційні аспекти технологій, енергоефективного виробництва, зберігання та маркетингу*. Харків: ХДУХТ.

Статті в іноземних виданнях

2. Евлаш, В. В., Погожих, Н. И., Немирич, А. В., & Максименко, А. Е. (2013). Формирование регидратационных свойств сушеного мясного полуфабриката. *Food science, engineering and technologies*, LX, 217-221. (Plovdiv, University of Food Technologies).

3. Неміріч, О. В., Вашека, О. М., Іваненко, О. А., & Тарасенко, Т. А. (2014). Research rehydration properties of cabbage powder. *Canadian Journal of Science Education and Culture*, 2 (6), 257-263. (Toronto, University of Toronto).

4. Vasheka, O., Niemirich, O., Petrusa, O., & Drozd, N. (2015). Investigation of the effect of vegetable powders on aqueous and oil phase in butter paste. *Journal Food and environment Safety of the Suceava University*, 4, 345-51. (Romania, Stefancel Mare University of the Suceava).

5. Немирич, А. В., Максименко, А. Е., Гавриш, А. В., & Рекеда, Л. Л. (2016). Технологические характеристики сушеного мясного полуфабриката, полученного СТП-сушкой. *Вестник Алматинского технологического университета*, 3 (112), 56-64. (Алмати, Алматинський технологічний університет).

6. Niemirich, A., & Petrusa, O. (2016). Assessment of color of meat using the method of computer colorimetry. *EUREKA: Life Sciences*, 3, 3-7. (Tallin, Estonia).

7. Niemirich, A., Melnyk, O., Petrusa, O., Havrysh, A., & Koval, O. (2017). Technological properties of the powder made from Jerusalem artichoke obtained by the method of drying with mixed heat supply. *EUREKA: Life Sciences*, 2, 42-50. (Tallin, Estonia).

8. Niemirich, A., Vasheka, O., Petrusa, O., & Pogozhikh N. (2018). Formation of technological indices of dry powder of cabbage. *EUREKA: Life Sciences*, 4, 42-49. (Tallin, Estonia).

Статті у фахових виданнях України

9. Неміріч, О. В., Вашека, О. М., Петруша, О. О., & Карпенко, А. В. (2014). Дослідження якості масляної суміші, збагаченої біогенним комплексом рослинних мікронутрієнтів. *Східно-Європейський журнал передових технологій «Технології і обладнання харчових виробництв»*, 3/10 (69), 30-33. (Міжнародний наукометричний науковий журнал «Східно-Європейський журнал передових технологій «Технології і обладнання харчових виробництв»» індексується в міжнародних наукометричних базах SCOPUS, CrossRef, Index Copernicus, American Chemical Society, PИИЦ, WorldCat, Ulrich's Periodicals Directory, BASE, ResearchBib, CiteFactor).

10. Євлаш, В. В., Неміріч, О. В., Петруша, О. О., Вашека, О. М., Гавриш, А. В., & Тарасенко, Т. А. (2015). Вплив овочевих порошків на властивості млинчикowego тіста і напівфабрикату. *Східно-Європейський журнал передових технологій*, 2/10 (74), 45-49. (Міжнародний наукометричний науковий журнал «Східно-Європейський журнал передових технологій» індексується в міжнародних наукометричних базах SCOPUS, CrossRef, Index Copernicus, American Chemical Society, PИИЦ, WorldCat, Ulrich's Periodicals Directory, BASE, ResearchBib, CiteFactor).

11. Неміріч, О. В., Петруша, О. О., Ясученко, О. С., & Дрозд, Н. В. (2015). Дослідження відновлюючої та емульгуючої здатностей овочевих і фруктових порошків. *Східно-Європейський журнал передових технологій*, 3/10 (75), 45-49. (Міжнародний наукометричний науковий журнал «Східно-Європейський журнал передових технологій» індексується в міжнародних наукометричних базах SCOPUS, CrossRef, Index Copernicus, American Chemical Society, PИИЦ, WorldCat, Ulrich's Periodicals Directory, BASE, ResearchBib, CiteFactor).

12. Niemirich, O., Petrusha, O., Vasheka, O., Trofymchuk, L., & Myndrul, N. (2016). Exploring the color of plant powders using computer colorimetry. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4/11 (82), 15–20. (*Міжнародний наукометричний науковий журнал «Eastern-European Journal of Enterprise Technologies» індексується в міжнародних наукометричних базах SCOPUS, CrossRef, Index Copernicus, American Chemical Society, PIHЦ, WorldCat, Ulrich's Periodicals Directory, BASE, ResearchBib, CiteFactor*).
13. Niemirich, A., Pogozhich, M., Petrusha, O., Havrysh, A., & Vasheka, O. (2017). Restoring and emulsifying properties of the dried meat semi-finished product. *Ukrainian Food Journal*, 6, 302–314. (*Журнал «Ukrainian Food Journal» індексується в міжнародних наукометричних базах Index Copernicus, BSCO, Google Scholar, UlrichsWeb, Global Impact, Web of Science*).
14. Погожих, М. І., Євлаш, В. В., Неміріч, О. В., Павлюк, І. М., & Тарасенко, Т. А. (2013). Визначення дисперсності порошків з кабачків та капусти. *Наука та інновації*, 4, 31–34. (*Науково-практичний журнал Національної академії наук України «Наука та інновації» індексується в міжнародних наукометричних базах Ulrich's Periodicals Directory, Index Copernicus International*).
15. Niemirich, A., Petrusha, O., Vasheka, A., & Gavrysh, A. (2016). Assessment of quality of vegetable powder by mixed method of heat supply. *Ukrainian Journal of Food Science*, 4, 49–58. (*Науково-практичний журнал «Ukrainian Journal of Food Science» індексується в міжнародних наукометричних базах Index Copernicus, ResearchBib, Open Academic Journals Index, Scientific Indexing Services*).
16. Євлаш, В. В., Гавриш, А. В., Неміріч, О. В., & Тарасенко, Т. А. (2012). Дослідження якості сушених капусти та кабачків під час зберігання. *Наукові праці НУХТ*, 46, 55–59. (*Науково-практичний журнал «Наукові праці НУХТ» індексується в міжнародних наукометричних базах Index Copernicus, EBSCOhost, CABI Full Text, Universal Impact Factor, Google Scholar*).
17. Погожих, М. І., Євлаш, В. В., Неміріч, О. В., Гавриш, А. В., & Максименко, А. Є. (2013). Технологічні аспекти виробництва сушеного м'яса. *Наукові праці НУХТ*, 21–28. (*Науково-практичний журнал «Наукові праці НУХТ» індексується в міжнародних наукометричних базах Index Copernicus, EBSCOhost, CABI Full Text, Universal Impact Factor, Google Scholar*).
18. Євлаш, В. В., Немирич, А. В., Максименко, А. Е., & Гриценко, О. Ю. (2014). Формирование пористости сушеного мясного полуфабриката при СТП-сушке мяса говядины. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*, 7, 185–189. (*Науково-практичний журнал «Вісник Національного технічного університету «ХПІ»» індексується в міжнародних наукометричних базах Ulrich's Periodical Directory, Index Copernicus, Google Академія*).
19. Погожих, М. І., Євлаш, В. В., Неміріч, О. В., Цуркан, М. М., & Гавриш, А. В. (2009). Вплив дисперсності органічних матриць на стабілізацію форм гемоглобіну. *Збірник наукових праць «Обладнання та технології харчових виробництв» ДонНУЕТ*, 20, 229–235. (*Тематичний збірник наукових праць «Обладнання та технології харчових виробництв» ДонНУЕТ входить до затвердженого МОН Переліку фахових видань України з технічних наук*).
20. Євлаш, В. В., Неміріч, О. В., Кортяк, Т. А., & Самойлова, А. О. (2012). Дослідження властивостей сушеного напівфабрикату з капусти, отриманого способом ЗТП-сушіння. *Збірник наукових праць молодих учених, аспірантів, студентів ОНАХТ*, 30–32. (*Збірник наукових праць молодих учених, аспірантів, студентів ОНАХТ входить до затвердженого МОН Переліку фахових видань України з технічних наук*).
21. Євлаш, В. В., Неміріч, О. В., & Тарасенко, Т. А. (2012). Установлення раціональних режимів сушіння капусти. *Збірник наукових праць ХДУХТ*, С. 3–7. (*Збірник наукових праць ХДУХТ входить до затвердженого МОН Переліку фахових видань України з технічних наук і індексується в міжнародних наукометричних базах Index Copernicus, Google Scholar, Research Bib, Scientific Indexing Services, Cite Factor, Infobase Index*).

22. Немирич, А. В., Євлаш, В. В., Гавриш, А. В., Ищенко, Т. И., & Тарасенко, Т. А. (2014). Реологические свойства блинчикового теста с овощными порошками. *Збірник наукових праць «Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв» ХНТУСГ ім. Петра Василенка*, 152, 302-310. (*Збірник наукових праць «Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв» ХНТУСГ ім. Петра Василенка* входить до затвердженого МОН Переліку фахових видань України з технічних наук).
23. Тарасенко, Т. А., Євлаш, В. В., Неміріч, О. В., Вашека, О. М., Гавриш, А. В., & Кравченко, О. І. (2015). Теоретичне дослідження способів сушіння овочів та фруктів. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького*, 4 (64), 148-158. (*Науковий вісник ЛНУВМБТ ім. С. З. Гжицького* входить до затвердженого МОН Переліку фахових видань України з технічних наук і індексується в міжнародних наукометричних базах Google Scholar, РИНЦ).
24. Неміріч, О. В., Вашека, О. М., Гавриш, А. В., Литвинчук, І. І., & Тарасенко, Т. А. (2015). Дослідження технологічних властивостей порошку з кабачків, отриманого ЗТП-сушінням. *Харчова промисловість*, 113-118. (*Журнал «Харчова промисловість»* входить до затвердженого МОН Переліку фахових видань України з технічних наук і індексується в міжнародних наукометричних базах Google Scholar, Index Copernicus).
25. Неміріч, О. В., Барташак, Ю. В., Вашека, О. М., Хуей, Д., & Гавриш, А. В. (2017). Теоретичні передумови створення рецептурної композиції масляних сумішей з рослинними інгредієнтами. *Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З. Гжицького*, 75, 161-165. (*Науковий вісник ЛНУВМБТ ім. С. З. Гжицького* входить до затвердженого МОН Переліку фахових видань України з технічних наук і індексується в міжнародних наукометричних базах Google Scholar, РИНЦ).

Статті в інших виданнях

26. Євлаш, В. В., Малафаєв, М. Т., Гавриш, А. В., Неміріч, О. В., & Тарасенко, Т. А. (2012). Структурно-механічні характеристики млинцевого тіста з порошком з капусти. *Хлебопекарское и кондитерское дело*, 4, 20-22.
27. Погожих, М. І., Євлаш, В. В., Неміріч, О. В., Гавриш, А. В., & Максименко, А. Є. (2012). Технологія сушеного м'яса. *Мясное дело*, 10 (127), 26-28.
28. Niemirich, O., Kuzmin, O., Vasheka, O., & Zychuk, T. (2018). Development of complex quantity assessment method of butter quality. *International scientific journal «Internauka»*, 5 (45), 27-34. (*Міжнародний науковий журнал індексується в міжнародних наукометричних базах Index Copernicus, ResearchBib, Scientific Indexing Services, Open Academic Journal Index*).

Патенти

29. Черевко, О. І., Погожих, М. І., Євлаш, В. В., Неміріч, О. В., Гавриш, А. В., Акмен, В. О., & Шевченко, Ю. В. (2009). Патент України 42051. Харків: Державне патентне відомство України.
30. Погожих, М. І., Євлаш, В. В., Неміріч, О. В., Максименко, А. Є., & et. al. (2011). Деклараційний патент України 62386. Харків: Державне патентне відомство України.
31. Погожих, М. І., Євлаш, В. В., Неміріч, О. В., Тарасенко, Т. А., Гавриш, А. В., Новосад, О. О., & Кардавар, К. М. (2014). Патент України 87390. Київ: Державне патентне відомство України.
32. Погожих, М. І., Євлаш, В. В., Неміріч, О. В., Тарасенко, Т. А., Гавриш, А. В., Новосад, О. О., & Кардавар, К. М. (2014). Патент України 107146. Київ: Державне патентне відомство України.
33. Погожих, М. І., Євлаш, В. В., Неміріч, О. В., Гавриш, А. В., Тарасенко, Т. А., Віннікова, В. О., & Курпілянська, К. В. (2014). Патент України 94565. Київ: Державне патентне відомство України.
34. Неміріч, О. В., Вашека, О. М., & Дрозд, Н. В. (2015). Патент України 101356. Київ: Державне патентне відомство України.

35. Неміріч, О. В., Заєць, В. В., Тарасенко, Т. А., Євлаш, В. В., & Гавриш, А. В. (2015). Патент України 103535. Київ: Державне патентне відомство України.
36. Погожих, М. І., Євлаш, В. В., Неміріч, О. В., Тарасенко, Т. А., Віннікова, В. О., & Курпілянська, К. В. (2015). Патент України 110144. Київ: Державне патентне відомство України.
37. Неміріч, О. В., Гавриш, А. В., & Рекеда, Л. Л. (2016). Патент України 110504. Київ: Державне патентне відомство України.
38. Вашека, О. М., Неміріч, О. В., & Дрозд, Н. В. (2016). Патент України 111043. Київ: Державне патентне відомство України.
39. Неміріч, О. В., Заєць, В. В., Тарасенко, Т. А., Євлаш, В. В., & Гавриш, А. В. (2017). Патент України 115457. Київ: Державне патентне відомство України.

Матеріали і тези конференцій

40. Євлаш, В. В., Немирич, А. В., & Максименко, А. Е. (2010). *Исследование органолептических показателей кулинарных изделий из сушеного мясного полуфабриката*. II Всеукр. наук.-практ. конф. Львів: ЛПЕТ.
41. Погожих, Н. И., Євлаш, В. В., Немирич, А. В., & Акмен, В. А. (2011). *Формирование функционально-технологических свойств диетических добавок противоанемической направленности*. Материалы V Междун. наук.-техн. конф. «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке». Санкт-Петербург.
42. Євлаш, В. В., Погожих, Н. И., Немирич, А. В., Максименко, А. Е., et. al. (2011). *Формирование функционально-технологических свойств сушеного мясного полуфабриката*. Збірник тез «Проблеми енергоефективності та якості в процесах сушіння харчової сировини»: Всеукр. наук.-практ. конф. Харків: Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі.
43. Погожих, М. І., Євлаш, В. В., Неміріч, О. В., et. al. (2011). *Формування функціонально-технологічних властивостей м'ясної сушеної сировини для кулінарних виробів*. Прогресивні техніка та технології харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі. Економічна стратегія і перспективи розвитку сфери торгівлі та послуг: міжнар. наук.-практ. конф. Харків: Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі.
44. Євлаш, В. В., Неміріч, О. В., Гавриш, А. В., & Максименко, А. Є. (2012). *Дослідження якості сушеного м'ясного напівфабрикату під час зберігання*. Технічні науки: стан, досягнення і перспективи розвитку м'ясної, олієжирової та молочної галузей : міжнар. наук.-техн. конф. Київ: НУХТ.
45. Євлаш, В. В., Неміріч, О. В., Гавриш, А. В., & Максименко, А. Є. (2012). *Функціонально-технологічні властивості соусів з використанням сушеного м'яса*. Здобутки, проблеми та перспективи розвитку готельно-ресторанного та туристичного бізнесу: всеукр. наук.-практ. конф. Київ: НУХТ.
46. Євлаш, В. В., Неміріч, О. В., & Максименко, А. Є. (2013). *Дослідження дисперсності сушеного м'яса*. Технічні науки: стан, досягнення і перспективи розвитку м'ясної, олієжирової та молочної галузей : II Міжнар. наук.-техн. конф. Київ: НУХТ.
47. Неміріч, О. В., Максименко, А. Є., & Шулімова, Ю. В. (2013). *Формування якості м'яса, отриманого способом сушіння зі змішаним тепlopідведенням*. Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: 79 Міжнар. наук.-конф. мол. учених, асп. і студ. Київ: НУХТ.
48. Євлаш, В. В., Іванов, С. В., Неміріч, О. В., & Максименко, А. Є. (2013). *Формування і оцінка якості соусів емульсійного типу з використанням сушеного м'ясного напівфабрикату*. Міжнародна науково-технічна конференція «Якість і безпека харчових продуктів». Київ: НУХТ.
49. Погожих, М. І., Євлаш, В. В., Неміріч, О. В., Максименко, А. Є., & Тарасенко, Т. А. (2013). *Розвиток наукових основ технологій харчових продуктів на основі сушеної харчової сировини*. The Second North and East European Congress on Food. Book of abstracts. Kyiv: NUFT.
50. Галецкая, О. В., Вашека, О. Н., Немирич, А. В., & Петруша, О. А. (2014). *Исследование показателей безопасности новых видов масляных смесей*. Материалы очно-

заочної науч.-практ. конф. «Иновационные технологии в сфере питания, сервиса и торговли». Екатеринбург.

51. Неміріч, О. В., Лявинець, Г. М., & Рекеда, Л. Л. (2016). *Дослідження капілярно-пористої структури сушеного м'ясного напівфабрикату ЗТП-сушіння*. Зб. тез допов. міжнар. наук.-практ. конф. студентів і молодих учених «Інноваційні напрямки розвитку освіти, сфери послуг і технологій». Луцьк: Волинський коледж НУХТ.

52. Неміріч, О. В., Рекеда, Л. Л., & Лявинець, Г. М. (2016). *Технологічні властивості сушеного м'ясного напівфабрикату*. Наукові здобутки у вирішенні актуальних проблем виробництва та переробки сировини, стандартизації і безпеки продовольства: зб. праць за підсумками VI Міжнар. наук.-практ. конф. вчених, аспірантів і студентів. Київ: Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України.

53. Vasheka, O., Niemirich, O., & Drozd, N. *Using micro-structural method in the study of the structural elements of the butter paste*. 8 th Central European Congress on Food 2016 – Food Science for Well-being. Kyiv: NUFT.

Особистий внесок здобувача: у матеріалах сумісних праць [2, 3, 5, 7, 8, 11, 13, 15–18, 20–22, 26, 27, 44, 46, 47, 51–53] автору належить загальний задум, проведення літературного пошуку, розробка методології досліджень, керівництво експериментальними дослідженнями, узагальнення результатів, участь у підготовці матеріалів до публікації; [1, 4, 6, 9, 10, 12, 14, 19, 40–43, 45, 48–50] – проведення літературного пошуку, керівництво і участь у дослідженнях, узагальнення результатів, підготовка матеріалів до публікації; [23–25, 28] – систематизація завдань та узагальнення висновків; [29–39] – загальний задум, теоретичне обґрунтування запропонованих рішень, керівництво дослідженнями, складання та редагування формул винаходів.

АНОТАЦІЯ

Неміріч О.В. – Наукове обґрунтування та розроблення технологій сушеної харчової продукції та харчових продуктів з її використанням. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.18.16 – технологія харчової продукції. – Національний університет харчових технологій, Київ, 2019.

Дисертацію присвячено розробленню науково обґрунтованих технологій харчових продуктів з використанням сушеної харчової продукції (СХП) шляхом формування та реалізації її функціонально-технологічного потенціалу за допомогою сушіння зі змішаним теплопідведенням (ЗТП-сушіння).

Теоретично та експериментально обґрунтовано наукову концепцію роботи, яка полягає в тому, що в ході сушіння відбувається формування функціонально-технологічного потенціалу СХП (здатність до диспергування, гідратаційна, жирутримуюча, емульгуюча здатності, число аромату, стійкість при зберіганні), які дозволяють розробити, удосконалити, інтенсифікувати і адаптувати технології харчових продуктів з її використанням для різних умов виробництва з отриманням гарантованої доданої вартості.

Вперше обґрунтовано спосіб та встановлено раціональні режими ЗТП-сушіння та подрібнення СХП, за умов дотримання яких вона набуває певних органолептичних, функціонально-технологічних, фізіологічних властивостей і

показників безпеки. Отримано комплексні наукові дані порометричних досліджень, що доводять утворення розвиненої капілярно-пористої структури продукції рослинного, тваринного походження та дієтичної добавки комбінованого складу, отриманих ЗТП-сушінням. Вперше розроблено концептуальну модель сформованого функціонально-технологічного потенціалу СХП, що забезпечує конкурентоспроможність та наукоємність технологій харчової продукції з її використанням.

На підставі теоретичних узагальнень і експериментальних досліджень запроваджено комплексне використання СХП, тваринного та комбінованого складу для технологій харчових продуктів широкого асортименту. Одержано нові дані впливу СХП на фізико-хімічні, функціонально-технологічні, структурно-механічні характеристики харчових продуктів, мікробіологічну безпеку, підвищення харчової цінності. Доведено ефективність такого підходу щодо використання сировини та людського ресурсу, інтенсифікації виробництва та розширення асортименту продукції, в тому числі функціонального призначення.

За обґрунтованою методологією оцінювання економічного ефекту наукової розробки доведено ефективність створення інноваційного технологічного потоку харчових продуктів з СХП.

Ключові слова: сушена харчова продукція, сушіння зі змішаним теплопідведенням, функціонально-технологічні властивості, технологічний потік, харчові продукти, наукоємні інноваційні технології.

ABSTRACT

Niemirich O.V. – Scientific justification and development of technologies of dried food products and food products with its use. – Manuscript.

Dissertation for the degree of doctor of technical sciences in the specialty 05.18.16 – Technology of food products. – National University of Food Technologies, Kyiv, 2019.

The dissertation is devoted to development of scientifically based technologies of food stuff with use of dried food products by formation and realization of its functional and technological potential by means of drying with the mixed heat supply (MHS-drying).

Theoretically and experimentally substantiated the scientific concept of the work, which lies in the fact that during the drying process the functional and technological potential of dried food products (DFP) is formed – dispersive, hydration, emulsifying abilities, ability to hold fat, aroma number, storage stability, – which is caused by physicochemical and colloid properties, is a basis of improvement and development of innovative high-tech food technologies, expansion of the range of foodstuff, allows to adapt technologies for various conditions of production (the enterprise of the food industry, restaurant establishments, including bistro and also living and special working conditions) with obtaining added value. The choice of raw materials of plant and animal origin, operation and the parameters of its preliminary

heat treatment are reasonable – steam boiling of meat raw materials, scaldings of vegetable raw materials, chopping dried rosehips on fraction with particle size $(30...60) \times 10^{-6}$ m mixing with blood of cattle. MHS-drying modes of food raw materials that provide high rehydration properties are optimized: boiled beef meat – 70 °C and duration 80×60 s, cabbage – 50 °C and 98×60 s, vegetable marrows – 70 °C and 74×60 s, jerusalem artichoke – 70 °C and 70×60 s, carrot – 70 °C and 76×60 s, paste of cattle blood and rosehip powder – 75 °C and 100×60 s. Dispersive ability of DFP is investigated; powders with fractions on particle size are received ($d \times 10^{-6}$, m): dried meat semi-finished product (DMSP) – (90...200), (60...90) and (30...60); vegetables and pasta from the blood of cattle and rosehip powder – (50...100), (30...50), (10...30). By means of a X-ray diffraction analysis, it was found that with rational MHS-drying regimes, a more fragile porous structures formed with preservation of the polysaccharides crystallinity of vegetable DFP in contrast to compacted samples of the convective method. The established patterns are the rationale for the technology of dispersing (grinding) DFP with the purpose of involving to the production technological flows of foodstuff.

Researches of a state and structure of the moisture of DFP received by means of MHS-drying are conducted. It is proved that the use of this method of drying contributes to the formation of rehydration properties of vegetable DFP, which are distinguished by a greater by 6.4...8.4% ability to bind moisture by strong bonds, but DMSP and a paste of cattle blood and powder from rosehip have 7.4% and 11.0%, respectively, less weakly bound moisture than in convectively dried meat. This fact proves the prolonged storage period of DFP, which contributes to resource saving.

Dispersive ability of a DFP to the coarse and microheterogeneous phases is investigated. It is defined that rational sizes of dispersion, in terms of formation of functional and technological properties, are: on fractions with particle size ($d \times 10^{-6}$, m): DMSP – (90...200), (60...90) and (30...60); vegetables and a paste of cattle blood and powder from rosehip – (50...100), (30...50) and (10...30).

It is proved that the hydrophobic particles of DMSP and dietary additive "Redgem", consisting of coagulated protein, weakly adsorb of water vapor, the amount of adsorbate is small. For DFP from cabbage, vegetable marrows, a Jerusalem artichoke and carrots the phenomenon of wetting is caused by inequality $\cos\theta > 0$ ($\theta < 90^\circ$) and also corresponds to combination of a wetting – infiltration.

There gularities of formation of a pore of a product at a comprehensive research of its capillary-porous structure are determined by the tensometric method, a porometry on a Mac-Ben facility, a mercury porometry. It is proved that the structure of vegetable powders formed by MHS-drying is characterized by small pore sat the temperature of the drying agent 50 °C and 1.2...1.5 times larger – at 70 °C.

It is proved that during convective drying the DFP due to shrink age during dehydration, changes during sorption and desorption are in significant. When MHS-drying in the process of vapor sorption, the DFP is well restored, the capillaries are swelling, there fore the differential distribution function of the pores expands, the average radius of the capillaries increases, which proves its improved functional and technological properties.

Mathematical models according to the concept of formation of functional and technological properties of a DFP are made and analysed; complex indicators of DFP quality by this properties depending on temperature of MHS-drying and dispersion are optimized: for DMSP 64 °C, $(30...60) \times 10^{-6}$ m, cabbage 50 °C, $(10...30) \times 10^{-6}$ m, dietary additive "Redgem" 70 °C, $(10...30) \times 10^{-6}$ m. Technological purpose of the DFP for various disperse systems is justified taking into account ponder ability coefficient. On the basis of organoleptic, microbiological and tensometric researches rational storage conditions of a DFP are defined: at a temperature (20 ± 2) °C and relative air humidity 70 % in polyethylene packing no more than 6 months, in vacuum – no more than 12 months, DMSP and dietary additive "Redgem" no more than 12 and 24 months in accordance.

Technologies of DFP with MHS-drying use are developed. The chemical composition, indicators of quality and safety is investigated. It is shown that the chemical composition of DMSP is presented by the high content of protein ($86 \pm 8\%$), differs by low moisture content ($7.0 \pm 0.7\%$) and fat content ($3.3 \pm 0.3\%$). It is proved that dietary additive "Redgem" is characterized by a ratio of two and trivalent iron which defines its set physiological effect. On safety indicators the DFP does not exceed standards. A comprehensive DFP involvement in technological stream of food production as a semi-finished product of high degree of readiness and an ingredient with given functional and technological properties is proposed.

It is established that sedimentation stability, viscosity of test systems are caused, in particular, by ability to swell of DFP biopolymers from cabbage, vegetable marrows, jerusalem artichoke, providing high functional and technological rates providing in a farinaceous dish, improves of nutrition value.

Process of a doughing of a pancake semi-finished product is optimized: as criterion of optimization tensile strength of semi-finished a product is chosen (Y), variation factors – dosage of vegetable DFP (x_1) % and duration of proofing dough (x_2) s. Extreme points for a semi-finished product with a vegetable DFP make up: from cabbage $x_1max = 5,1$ %, $x_2max = 4 \times 60$ s, $Ymax = 7,8 \times 10^3$ Pa; from jerusalem artichoke – $x_1max = 7,9$ %, $x_2max = 20 \times 60$ s, $Ymax = 9,3 \times 10^3$ Pa; from vegetable marrows – $x_1max = 6,3$ %, $x_2max = 12 \times 60$ s, $Ymax = 8,0 \times 10^3$ Pa.

The method of microstructural analysis established the interaction of the components of a vegetable DFP with fatty and water phases of the butter mixture and formation of agglomerate with the cellular structure is discovered. By method of the differential scanning calorimetry it is established that the presence of components of a vegetable DFP leads to an intensification of processes of recrystallization and differentiation of groups of light and medium-melting triglycerides in a crystal fatty phase of the enriched butter mix. It is proved that at dispersion $(30...60) \times 10^{-6}$ m DMSP of the product, ultimate shear strength and viscosity of hot sauce increase that defines its technological appointment for the wide range of dishes. It is established superficial interactions of particles of dietary additive "Redgem" with surfactant which creates the cover that is densely covering a particle and promotes the formation energetically most "beneficial" for the interaction between particles of a disperse phase of spherical shape.

Normative documentation is developed and approbation of the new products technologies in conditions of production is carried out. The methodology of assessment of economical and technological potential of scientific development of innovative foodstuff technologies with use of a DFP is justified.

High level of science intensity of a DFP and foodstuff with its use and on its basis are determined, the confirming high values of coefficient of science intensity of a DFP in comparison with a similar indicator for the enterprises of the food industry, the level of scientific and technical effectiveness of the developed technology and also investment attractiveness of its introduction in production. The coefficient of scientific and technical effectiveness of scientific development is close to the maximum value, and the payback period according to preliminary estimates is 2.0...2.5 years, which proves the high level of development potential as an object of commercialization. For technical solutions proposed in the dissertation, 7 patents of Ukraine for a utility model and 4 for an invention were obtained.

Keywords: dried food products, drying with the mixed heat supply, functional and technological properties, process flow, foodstuff, high-tech innovative technologies.