

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЦЕПТУРНОГО СКЛАДУ ТА РЕЖИМІВ СУШІННЯ КРАФТОВОЇ ФРУКТОВО-ОВОЧЕВОЇ ПАСТИЛИ З ПІДВИЩЕНОЮ БІОЛОГІЧНОЮ ЦІННІСТЮ

І. М. БЕЛОВА¹, кандидат економічних наук

І. Я. СТАДНИК², доктор технічних наук

¹Західноукраїнський національний університет

²Тернопільський національний технічний університет

Розглянуто науково обґрунтований підхід до створення крафтової фруктово-овочевої пастили на основі яблучного, гарбузового та ягідного пюре. Запропоновано модель рецептурно-режимної оптимізації, що поєднує варіювання частки гарбузового й ягідного компонентів, температури конвективного сушіння та товщини шару з урахуванням активності води, вологості, збереження біоактивних сполук, кольору, текстури й сенсорної прийнятності. На основі багатокритеріальної оцінки встановлено, що співвідношення пюре 55 : 30 : 15 (яблучне: гарбузове: ягідне) у поєднанні з конвективним сушінням за 60 °С і товщини шару 4 мм забезпечує оптимальний компроміс між швидкістю вологовидалення, структурною цілісністю пастили, очікуваним збереженням біоактивних речовин і сенсорною прийнятністю та є перспективним для подальшої експериментальної валідації в умовах крафтового виробництва.

Ключові слова: *фруктово-овочева пастила, fruit leather, яблучне пюре, гарбузове пюре, ягідне пюре, сушіння, активність води, вітамін С, поліфенольні сполуки, оптимізація, харчові технології.*

Вступ. Попри значну кількість досліджень технологій пастильних виробів (*fruit leather/pestil*) на основі окремих видів сировини, питання їх оптимізації досі розглядаються розрізнено. Зокрема, рецептурні параметри та режими сушіння рідко інтегруються у єдину багатофакторну модель. Це обмежує можливості наукового обґрунтування технології крафтової фруктово-овочевої пастили, що базується на сумішах яблучного, гарбузового та ягідного пюре з високою природною варіабельністю складу. Окремим невирішеним аспектом є відсутність комплексних рішень, які б одночасно враховували співвідношення компонентів, параметри конвективного сушіння та критичні показники якості (активність води, кінцеву вологість, текстуру) як інтегральні критерії стабільності продукту. Дефіцит таких моделей, адаптованих до умов малих виробництв, зумовлює актуальність наукового пошуку оптимальних рецептурно-режимних рішень.

Аналіз досліджень і публікацій. У міжнародній науковій практиці фруктова пастила класифікується як низько- або середньовологий реструктурований продукт, отриманий шляхом зневоднення тонкого шару фруктового пюре. Узагальнення технологічних підходів до виготовлення *fruit leathers* свідчить, що

більшість таких продуктів піддають сушінню в діапазоні температур 30–80 °С до досягнення кінцевої вологості 12–20 % [1]. При цьому якісні характеристики готового виробу критично залежать від виду сировини, товщини шару продукту, параметрів термічної обробки, а також умов пакування та зберігання [1]. Зазначене підтверджує тезу про те, що для забезпечення стабільної якості пастили недостатньо регламентувати лише рецептурний склад; необхідним є комплексне обґрунтування взаємозв'язку рецептури та режимів сушіння.

Особливе методологічне значення для даної роботи мають дослідження яблучної пастили як складної пектинової системи, структура якої формується внаслідок взаємодії сахаридів, органічних кислот та високометоксильного пектину [2]. Встановлено чітку температурну залежність швидкості вологовидалення та кінетики деструкції антиоксидантних сполук у процесі переробки [2]. Для розроблюваної фруктово-овочевої пастили такий підхід є фундаментальним, оскільки яблучне пюре в складі композиції розглядається не лише як органолептична основа, а й як природний структуроутворювач.

Дослідження технології гранатової пастили підтверджують, що параметри сушіння визначають не лише інтенсивність вологовидалення, а й ступінь збереження термочутливих біоактивних компонентів: фенольних сполук, антоціанів та аскорбінової кислоти. Встановлено, що спосіб енергопідведення, температурний рівень та геометричні параметри шару продукту безпосередньо впливають на кінетику масоперенесення та швидкість деградації нутрієнтів [3]. Порівняльний аналіз різних методів зневоднення показав їх диференційований вплив на активність води (a_w), колірні характеристики, текстурні показники та антиоксидантну активність готового виробу [4]. Викладені результати доводять доцільність розгляду режиму сушіння (*drying mode*) як центрального керованого фактора технології, а не лише як завершальної операції з видалення вологи.

Стосовно гарбузового компонента релевантними є дослідження сушильних характеристик, мінерального складу, текстурних та сенсорних властивостей пастили [5]. У роботі проведено порівняльний аналіз конвективного, вакуумного та мікрохвильового методів сушіння в діапазоні температур 50–70 °С. Встановлено, що попри інтенсифікацію процесу та скорочення часу за мікрохвильового зневоднення, зразки, отримані шляхом конвективного та вакуумного сушіння, характеризувалися вищою сенсорною прийнятністю [5]. Даний факт є вагомим аргументом на користь використання конвективного сушіння в умовах малих та крафтових виробництв, де пріоритетним є поєднання технологічної доступності зі стабільними показниками текстури та споживчої якості готового продукту.

Доведено, що мікроструктура пастили безпосередньо впливає на кінетику сушіння та механічні властивості готового продукту [6]. Такий підхід є критично важливим для композиційних систем, оскільки введення гарбузового та ягідного компонентів змінює дисперсність, реологічні характеристики (зокрема в'язкість) та здатність маси до формування гомогенного еластичного шару.

У сучасній науковій практиці для оптимізації параметрів виробництва пастильних виробів широко застосовується методологія поверхні відгуку (*response surface methodology*, RSM). Зокрема, використання RSM дозволило

встановити оптимальне співвідношення температури, концентрації сахарози та товщини шару продукту з урахуванням збереження фенольних сполук, антоціанів та загальної антиоксидантної активності [7]. Ефективність багатофакторного проєктування підтверджена також при оптимізації технології пастили на основі плодово-овочевих сумішей, висушених із застосуванням теплових насосів [8]. Таким чином, математичне моделювання на основі RSM є релевантним та сучасним інструментом для системного обґрунтування параметрів виробництва фруктово-овочевої пастили.

Результати досліджень комбінованих пастильних виробів (*mixed fruit leather*) свідчать, що термічна обробка в діапазоні 50–70°C суттєво впливає на концентрацію антиоксидантних сполук, органолептичні показники та стабільність продукту при зберіганні. Доведено, що раціональний вибір режимів сушіння та пакування дозволяє досягти оптимальних значень вологості й a_w при максимальному збереженні поліфенольних речовин та аскорбінової кислоти [9]. Це підтверджує доцільність врахування не лише кінетики вологовидалення, а й прогнозованої стабільності показників якості протягом терміну придатності.

Особливу увагу в технології продуктів із проміжною вологістю слід приділяти активності води. Згідно з рекомендаціями FDA, показник a_w є визначальним фактором мікробіологічної стабільності, оскільки він характеризує доступність вільної води для розвитку патогенної мікрофлори [10]. Для фруктово-овочевої пастили активність води є більш інформативним критерієм безпечності та стабільності структури, ніж загальна масова частка води. Відтак, у запропонованій моделі оптимізації величина a_w розглядається як обов'язковий вихідний параметр.

Аналіз наукової літератури свідчить про наявність значного масиву даних щодо технологій монокомпонентної пастили (яблучної, гранатової, гарбузової), комбінованих виробів (*mixed fruit leather*) та застосування методології RSM для оптимізації процесів сушіння. Водночас залишаються недостатньо висвітленими питання системної оптимізації технології крафтової фруктово-овочевої пастили, що базується на поєднанні яблучної, гарбузової та ягідної сировини. Зокрема, потребує доопрацювання підхід, який би одночасно враховував механізми структуроутворення, збереження біологічної цінності, досягнення критичних значень активності води та забезпечення високої сенсорної прийнятності продукту. Саме ця наукова прогалина визначає спрямованість даного дослідження.

Метою статті є наукове обґрунтування рецептурного складу та режимів конвективного сушіння крафтової фруктово-овочевої пастили з підвищеною біологічною цінністю на основі багатофакторного моделювання.

Методика дослідження. Дослідження реалізовано у форматі технологічного моделювання, що базується на системному аналізі та узагальненні результатів сучасних експериментальних праць щодо технологій *fruit leather/pestil* із застосуванням методів багатокритеріальної оптимізації. Обраний дизайн дослідження спрямований на наукове обґрунтування раціональної рецептурно-режимної області, що є передумовою для подальшої експериментальної валідації в умовах виробництва.

Об'єктом моделювання є технологічний процес виробництва крафтової фруктово-овочевої пасти на основі композиції яблучного, гарбузового та ягідного пюре.

Предметом моделювання є закономірності впливу концентрації гарбузового та ягідного пюре, температури сушіння та товщини шару продукту на параметри технологічної стабільності, сенсорні характеристики та показники біологічної цінності готового виробу.

Для математичного опису системи обрано чотири незалежні змінні (фактори впливу): X_1 – масова частка гарбузового пюре, %; X_2 – масова частка ягідного пюре, %; X_3 – температура конвективного сушіння, °C; X_4 – товщина шару продукту (розливу), мм.

Масова частка яблучного пюре в моделі є залежною (балансовою) величиною і розраховується як $100 - X_1 - X_2$. Діапазони варіювання факторів (табл. 1) встановлено на основі ретроспективного аналізу літературних даних щодо кінетики сушіння fruit leathers та функціонально-технологічних властивостей обраної сировини.

Табл. 1. Характеристика факторів моделювання та рівні їх варіювання

Фактор	Позначення	Нижній рівень (-1)	Основний рівень (0)	Верхній рівень (+1)	Технологічне обґрунтування
Масова частка гарбузового пюре, %	X_1	20	30	40	Забезпечення вмісту каротиноїдів та харчових волокон; обмеження через вплив на рН системи
Масова частка ягідного пюре, %	X_2	10	15	20	Джерело антоціанів та поліфенолів; надлишок підвищує титровану кислотність та адгезійні властивості (липкість)
Температура сушіння, °C	X_3	50	60	70	Регулювання інтенсивності вологовидалення, збереження термолабільних сполук та колірних характеристик
Товщина шару розливу, мм	X_4	3	4	5	Визначення тривалості циклу сушіння, градієнта вологості та формування текстурних показників

Примітка. Сформовано авторами на основі узагальнення досліджень fruit leather/pestil [1–3, 5, 7, 9]

Технологічна схема виробництва включає наступні етапи: інспектування та миття сировини; гідротермічна обробка (розм'якшення) гарбуза; подрібнення та гомогенізація компонентів; рецептурне змішування пюре; деаерація маси; формування шару продукту на інертній підкладці; конвективне сушіння;

охолодження; механічне відділення пастильного листа; порційне нарізання; пакування у матеріал із високими бар'єрними властивостями та зберігання за регламентованих параметрів відносної вологості повітря.

Для порівняльної оцінки варіантів оптимізації використано апарат функцій бажаності Харрінгтона. Часткові функції бажаності d_i варіюються в діапазоні від 0 (технологічно неприйнятний рівень показника) до 1 (ідеальне значення). Узагальнений показник (інтегральний індекс бажаності) D розраховували як зважену адитивну згортку часткових функцій бажаності:

$$D = 0,20d_{aw} + 0,15d_w + 0,15d_{AA} + 0,15d_C + 0,15d_T + 0,10d_S + 0,10d_R$$

де: d_{aw} – бажаність за показником активності води; d_w – за кінцевою масовою часткою вологи; d_{AA} – за ступенем збереження антиоксидантної активності; d_C – за стабільністю колірних характеристик; d_T – за показниками текстурної еластичності; d_S – за сенсорною збалансованістю; d_R – за технологічною відтворюваністю (стабільністю процесу).

Вагові коефіцієнти встановлено експертним шляхом, виходячи з того, що критичними факторами якості пастили є мікробіологічна стабільність (визначається a_w), нормована вологість, збереження біологічно активних речовин та структурно-механічні властивості (табл. 2).

Табл. 2. Критерії оптимізації фруктово-овочевої пастили

Критерій (y_i)	Цільовий технологічний напрям (оптимум)	Значення для якості продукту
Активність води (a_w)	Мінімізація до значень, що гарантують мікробіологічну інертність продукту	Показник безпечності та стабільності при зберіганні
Масова частка вологи (W)	Досягнення значень, що забезпечують еластичну, адгезійно-стійку структуру	Формування цільових текстурних показників
Антиоксидантна активність (AA)	Максимальне збереження нативного вмісту фенольних сполук та антоціанів	Забезпечення функціональних властивостей та біологічної цінності
Вміст вітаміну С (C)	Мінімізація термодеструкції аскорбінової кислоти	Показник збереженості термолабільних нутрієнтів
Колірні характеристики (C_{color})	Максимальне наближення до природного забарвлення сировинної композиції	Естетична привабливість та товарний вигляд
Сенсорна оцінка (S)	Гармонізація цукро-кислотного індексу, аромату та органолептичного профілю	Рівень споживчої лояльності та прийнятності
Технологічна відтворюваність (R)	Гомогенність нанесення маси та рівномірність кінетики вологовидалення	Адаптованість до умов крафтових підприємств

Примітка. Розроблено авторами.

Отримані результати мають розрахунково-прогностичний характер і потребують подальшої експериментальної верифікації в лабораторних умовах.

Результати дослідження. На першому етапі оптимізації проаналізовано функціонально-технологічну роль кожного рецептурного компонента в системі. Встановлено, що яблучне пюре виконує роль базової структурної матриці завдяки високому вмісту пектинових речовин, органічних кислот та розчинних сухих речовин. Воно забезпечує формування еластичного пастильного листа та гармонізує органолептичний профіль композиції. Зниження концентрації яблучного компонента нижче рівня 40–45 % призводить до дестабілізації структури та погіршення механічних властивостей готового виробу за відсутності додаткового введення гідроколоїдів.

Гарбузове пюре інтегроване в рецептуру як функціональний інгредієнт, що збагачує продукт каротиноїдами, аліментарними волокнами та мінеральними речовинами. Його технологічний вплив характеризується підвищенням в'язкості вихідної маси та пластифікацією текстури готової пастили. Разом з тим, надмірне введення гарбузового пюре може призводити до розбалансування кислотно-пектинової рівноваги системи, що вимагає чіткого дозування для збереження стабільності структури.

Ягідне пюре виступає природним коректором антиоксидантного потенціалу, активної кислотності та колірних характеристик. Внесення ягідної сировини суттєво підвищує концентрацію антоціанів та фенольних сполук, проте корелює зі зростанням адгезійних властивостей (липкості) продукту та надмірною інтенсифікацією кислого смаку. Науково обґрунтованим є діапазон використання ягідного пюре на рівні 10–20 %, причому досягнення верхньої межі потребує прецизійного контролю вмісту сухих речовин та параметрів товщини шару розливу (табл. 3).

Табл. 3. Рецептурні варіанти для моделювання якості фруктово-овочевої пастили

Варіант	Яблучне пюре, %	Гарбузове пюре, %	Ягідне пюре, %	Технологічна характеристика
R1	70	20	10	висока структурна стабільність, помірна біологічна цінність
R2	55	30	15	збалансоване структуроутворення, колір, кислотність і біологічна цінність
R3	40	40	20	високий функціональний потенціал, ризик м'якості й липкості
R4	60	20	20	виражений ягідний профіль, вища кислотність, добрий колір

Примітка. Розроблено авторами.

Порівняльний аналіз рецептурних композицій свідчить, що варіант R₁ характеризується найвищою технологічною стабільністю, проте є найменш ефективним з погляду підвищення біологічної цінності продукту. Зразок R₃ володіє максимальним вмістом функціональних інгредієнтів, проте існує висока ймовірність дестабілізації текстури внаслідок критичного накопичення гарбузового та ягідного пюре, що порушує пектинову матрицю. Рецептатура R₄ забезпечує інтенсивну візуальну привабливість та виражену кислотність, проте висока концентрація ягідного компонента підвищує ризик зростання адгезії маси.

Найбільш раціональним визначено варіант R₂, який поєднує достатній об'єм яблучної основи для формування стійкого гелю, технологічно значущу масову частку гарбузового пюре та ягідний компонент у концентрації, необхідній для корекції колірних характеристик, рН середовища та антиоксидантного потенціалу. Така збалансованість складу корелює з фундаментальними закономірностями формування пектинових структур у полікомпонентних фруктово-овочевих системах.

Відповідно до описаної методики, для кількісної оцінки якості фруктово-овочевої пастили використано підхід функції бажаності, що передбачає перехід від окремих показників якості до інтегрального критерію оптимізації. Узагальнена функція бажаності формувалася як зважена сума часткових функцій, які характеризують активність води, масову частку вологи, ступінь збереження антиоксидантної активності, стабільність кольору, текстурно-механічні властивості, сенсорні характеристики та технологічну відтворюваність процесу. Вагові коефіцієнти встановлювали з урахуванням їхнього впливу на формування споживчих і технологічних властивостей готового продукту.

Експериментальні дослідження проводили для рецептурних варіантів, що відрізнялися співвідношенням яблучного, гарбузового та ягідного пюре. Оскільки сумарний вміст компонентів у системі є сталим і становить 100 %, досліджуваний об'єкт розглядали як багатокомпонентну суміш, для аналізу якої доцільно застосовувати методи планування експерименту для сумішей. На основі отриманих експериментальних даних визначено значення інтегрального показника якості D для кожного варіанта рецептури. Подальшу інтерпретацію результатів здійснювали з використанням графічних методів візуалізації, зокрема трикутної (ternary) діаграми з кольоровою інтерполяцією, що дозволяє відобразити розподіл функції бажаності в усьому діапазоні досліджуваних композицій.

Застосування такого підходу забезпечує не лише наочне представлення експериментальних даних, але й дозволяє ідентифікувати область оптимальних співвідношень компонентів, що є ключовим для розроблення рецептур із заданими функціонально-технологічними властивостями (рис. 1). Трикутна діаграма з кольоровою інтерполяцією дозволяє комплексно оцінити вплив рецептурного складу на інтегральний показник якості продукту. Кольорове поле відображає інтерпольовані значення показника D, ізолінії – рівні однакової бажаності. Встановлено, що область максимальних значень функції бажаності D локалізується в зоні збалансованого співвідношення компонентів, що відповідає рецептурі R₂. Градієнт кольорового поля свідчить про нелінійний характер зміни функції бажаності залежно від складу суміші.

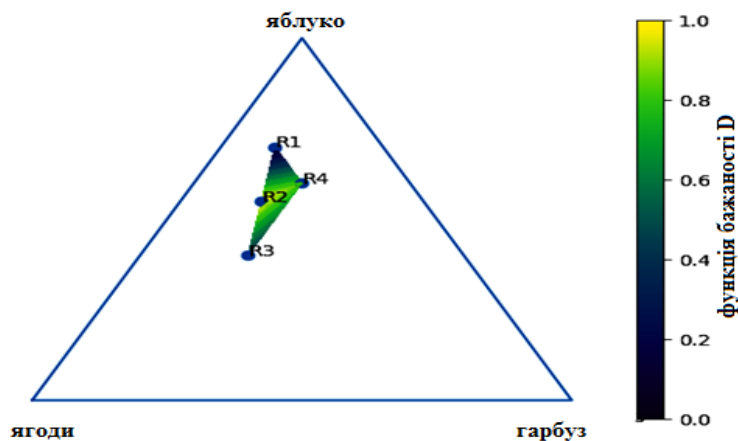


Рис. 1. Трикутна діаграма розподілу функції бажаності D залежно від співвідношення яблучного, гарбузового та ягідного пюре

Зокрема, збільшення частки ягідного компоненту сприяє підвищенню значень D до певного рівня, після чого ефект насичення змінюється зниженням через погіршення структурних властивостей продукту. Аналогічно, надмірне введення гарбузового пюре призводить до зменшення функції бажаності, що пов'язано з негативним впливом на текстурні характеристики. Ізолінії на діаграмі підтверджують наявність області оптимуму, що має обмежений характер, що є типовим для багатокомпонентних харчових систем і свідчить про необхідність точного підбору рецептурних параметрів.

Наступним етапом дослідження став вибір раціональних параметрів сушіння (табл. 4).

Табл. 4. Порівняльна технологічна оцінка режимів сушіння

Режим	Температура, °C	Товщина шару, мм	Очікувана швидкість сушіння	Ризик втрат біоактивних речовин	Текстурний ризик	Інтегральна технологічна оцінка
D1	50	5	низька	низький	ризик липкості через тривалий процес	середня
D2	60	4	середня	помірний	формування еластичного шару	висока
D3	70	3	висока	підвищений	ризик пересушування поверхні	середня
D4	60	5	середня	помірний	ризик нерівномірної вологості в товщі шару	достатня

Примітка. Розроблено авторами на основі закономірностей сушіння fruit leather/pestil [1–3, 5, 7, 10].

Встановлено, що інтенсифікація температурного впливу прискорює процес зневоднення яблучної матриці, проте корелює зі зростанням втрат

антиоксидантних сполук [11, 12]. Аналогічні закономірності спостерігаються і для інших видів пастили, де температурний градієнт та товщина шару розливу безпосередньо визначають збереженість аскорбінової кислоти, фенольних речовин, антоціанів, а також фінальні показники кольору та текстури [13, 14]. Для гарбузовмісної пастили конвективний метод у діапазоні 50–70 °С є найбільш прийнятним, оскільки дозволяє досягти кращих сенсорних показників порівняно з високоінтенсивними методами енергопідведення [5].

За результатами комплексного технологічного аналізу найбільш раціональним у межах розробленої моделі визначено режим D₂: температура зневоднення 60 °С при товщині шару розливу 4 мм. Даний режим забезпечує оптимальний компроміс між тривалістю технологічного циклу, ступенем ретенції (збереження) біологічно активних речовин та формуванням цільових структурно-механічних властивостей еластичної матриці.

Встановлено, що зниження температури до 50 °С сприяє максимальному збереженню термолабільних сполук, проте в умовах крафтового виробництва такий підхід призводить до суттєвого пролонгування процесу та підвищує ризики нерівномірного розподілу вологи за об'ємом продукту. Навпаки, підвищення температури до 70 °С дозволяє інтенсифікувати вологовидалення, проте для багатокомпонентних систем із вмістом ягідної сировини це спричиняє активацію процесів неферментативного потемніння (реакції Майяра), деградацію антоціанів та суттєві втрати аскорбінової кислоти [13, 15].

На третьому етапі виконано інтегральну оцінку поєднання рецептури і режиму сушіння (табл. 5). Оцінювання має розрахунково-модельний характер: воно не є заміною лабораторного експерименту, але дозволяє визначити найбільш обґрунтовану область подальшої валідації. Найбільш обґрунтованою для подальшої експериментальної перевірки визначено комбінацію R₂-D₂ : 55 % яблучного пюре, 30 % гарбузового пюре, 15 % ягідного пюре; конвективне сушіння за 60 °С; товщина шару 4 мм. Така рецептура технологічно обґрунтована, оскільки яблучна частка залишається достатньою для пектинового структуроутворення, гарбузова частка є достатньою для збагачення каротиноїдами та харчовими волокнами, а ягідна частка забезпечує кислотність, колір і поліфенольний профіль без надмірного ризику липкості.

Як орієнтовні для експериментальної верифікації пропонуються такі цільові показники якості: масова частка вологи 12–20 %, $a_w \leq 0,85$, а для підвищеної мікробіологічної стабільності – у межах 0,70–0,80 залежно від рецептури та умов пакування, рН у кислотній області, стабільний колір, еластичну текстуру без ламкості й липкості, потенційно вищий вміст фенольних сполук порівняно з контрольною яблучною пастилою та прийнятну органолептичну оцінку. Ці показники мають бути встановлені лабораторно для конкретної сировини, оскільки вміст сухих речовин, кислотність і пектиновий потенціал яблук, гарбуза й ягід залежать від сорту, стиглості та умов зберігання.

Наукове значення запропонованої моделі полягає в тому, що вона розглядає пастилу не як простий сушений снєк, а як багатокомпонентну харчову систему, у якій рецептура та сушіння взаємно визначають структуру, стабільність і біологічну цінність.

Табл. 5. Розрахункова матриця вибору оптимального рецептурно-режимного рішення

Комбінація	Рецептура	Режим сушіння	Очікувана перевага	Потенційне обмеження	Рекомендація
R1-D2	70 : 20 : 10	60°C, 4 мм	висока структурна стабільність	нижчий рівень функціонального збагачення	придатна як контроль
R2-D2	55 : 30 : 15	60°C, 4 мм	баланс структури, кольору, кислотності й біологічної цінності	потребує контролю aw і рН	рекомендована для експериментальної перевірки
R3-D2	40 : 40 : 20	60°C, 4 мм	найвища частка гарбуза й ягід	ризик липкості та м'якості	потребує додаткового структуроутворення
R4-D1	60 : 20 : 20	50°C, 5 мм	краще збереження кольору	триваліше сушіння	придатна для ягідного профілю
R2-D3	55 : 30 : 15	70°C, 3 мм	швидке сушіння	ризик потемніння і втрат вітаміну С	не є пріоритетною

Примітка. Розраховано авторами на основі багатокритеріальної моделі оптимізації.

Практичне значення полягає в можливості використання моделі для малих виробництв, фермерських переробних цехів і крафтових брендів, які працюють із локальною яблучною, гарбузовою та ягідною сировиною.

Висновки. 1. Фруктово-овочева пастила є технологічно перспективним крафтовим продуктом, що дозволяє поєднати пектиновмісну фруктову основу, овочеву сировину з каротиноїдами та ягідні компоненти з підвищеним вмістом фенольних сполук. Її якість визначається не лише рецептурою, а взаємодією рецептурного складу, товщини шару, температури сушіння, активності води, кислотності та структуроутворення.

2. Обґрунтовано технологічну роль яблучного, гарбузового та ягідного пюре. Яблучне пюре забезпечує пектинову матрицю й органічно-кислотну основу; гарбузове пюре підвищує біологічну цінність за рахунок каротиноїдів і харчових волокон; ягідне пюре формує природне забарвлення, кислотність і антиоксидантний потенціал.

3. На основі багатокритеріального модельного аналізу обґрунтовано раціональне рецептурне співвідношення яблучного, гарбузового та ягідного пюре 55 : 30 : 15. Як раціональний у межах модельного підходу визначено режим конвективного сушіння (60 °C; товщина шару 4 мм). Таке поєднання, за результатами модельної оцінки, здатне забезпечити збалансований компроміс між швидкістю сушіння, очікуваним збереженням біологічно активних речовин, формуванням еластичної текстури та технологічною відтворюваністю для крафтового виробництва.

Подальша експериментальна валідація має включати визначення aw, масової частки вологи, рН, титрованої кислотності, загального вмісту фенольних сполук,

вітаміну С, антиоксидантної активності, кольору, текстурних характеристик, органолептичної оцінки та стабільності під час зберігання. Саме ці дані дозволять перевести запропоновану модель у завершену експериментальну технологію.

Література:

1. Diamante L. M., Bai X., Busch J. Fruit leathers: method of preparation and effect of different conditions on qualities. *International Journal of Food Science*. 2014. Vol. 2014. Article 139890. DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/139890>
2. Demarchi S. M., Quintero Ruiz N. A., Concellón A., Giner S. A. Effect of temperature on hot-air drying rate and on retention of antioxidant capacity in apple leathers. *Food and Bioprocess Processing*. 2013. Vol. 91(4). P. 310–318. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2012.11.008>
3. Yilmaz F. M., Yükksekaya S., Vardin H., Karaaslan M. The effects of drying conditions on moisture transfer and quality of pomegranate fruit leather (pestil). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 2017. Vol. 16(1). P. 33–40. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.01.003>
4. Tontul I., Topuz A. Effects of different drying methods on the physicochemical properties of pomegranate leather (pestil). *LWT – Food Science and Technology*. 2017. Vol. 80. P. 294–303. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.02.035>
5. Özkan Karabacak A., Suna S., Dorak S., Çopur Ö. U. Drying characteristics, mineral content, texture and sensorial properties of pumpkin fruit leather. *Latin American Applied Research*. 2021. Vol. 51(3). <https://doi.org/10.52292/j.laar.2021.753>
6. Valenzuela C., Aguilera J. M. Aerated apple leathers: effect of microstructure on drying and mechanical properties. *Drying Technology*. 2013. Vol. 31(16). P. 1951–1959. <https://doi.org/10.1080/07373937.2013.803979>
7. Deniz Z., Suna S. Unlocking the potential of elderberry (*Sambucus nigra* L.) fruit leather: optimization of production and evaluation of bioactive content and bioaccessibility using response surface methodology. *Food Chemistry*. 2025. Vol. 493. Article 146046. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.146046>
8. Durgut Malçok S., Özkan Karabacak A., Suna S., Dorak S., Çopur Ö. U. Application of response surface methodology for optimisation of Cornelian cherry – *Capria* pepper leather dried in a heat pump drying system. *Journal of Agricultural Engineering*. 2023. Vol. 54(3). DOI: <https://doi.org/10.4081/jae.2023.1538>
9. Hoang Q. B., Do T. T. L., Le T. T. Changes in antioxidant activity and organoleptic quality of mixed fruit leather during drying and storage. *Engineering and Technology for Sustainable Development*. 2021. Vol. 31(4). P. 7–13. <https://doi.org/10.51316/jst.153.etsd.2021.31.4.2>
10. U.S. Food and Drug Administration. Water Activity (aw) in Foods. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.fda.gov/inspections-compliance-enforcement-and-criminal-investigations/inspection-technical-guides/water-activity-aw-foods>
11. Sagar V. R., Kumar P. S. Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review. *Journal of Food Science and Technology*. 2010. Vol. 47. P. 15–26. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0010-8>
12. Corradini M. G., Peleg M. Shelf-life estimation from accelerated storage data. *Trends in Food Science & Technology*. 2007. Vol. 18(1). P. 37–47. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2006.07.011>
13. Alam M. H., Ahmad M. H., Imran M., Rehman M. U., Khan M. I., Khan M. K., Khalid W., Alharbi S. A., Aljawdah H. M., Madilo F. K. Production of

stevia-based persimmon fruit leather by microwave oven and its optimization with response surface methodology. *Food Science & Nutrition*. 2025. Vol. 13(2). Article e70036. <https://doi.org/10.1002/fsn3.70036>

14. Tontul I., Topuz A. Spray-drying of fruit and vegetable juices: effect of drying conditions on the product yield and physical properties. *Trends in Food Science & Technology*. 2017. Vol. 63. P. 91–102. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.03.009>

15. Taheri-Garavand A., Karimi F., Karimi M., Lotfi V., Khoobakht G. Hybrid response surface methodology-artificial neural network optimization of drying process of banana slices in a forced convective dryer. *Food Science and Technology International*. 2018. Vol. 24(4). P. 277–291. <https://doi.org/10.1177/1082013217747712>

References:

1. Diamante, L. M., Bai, X., & Busch, J. (2014). Fruit leathers: method of preparation and effect of different conditions on qualities. *International Journal of Food Science*, 139890. <https://doi.org/10.1155/2014/139890>

2. Demarchi, S. M., Quintero Ruiz, N. A., Concellón, A., & Giner, S. A. (2013). Effect of temperature on hot-air drying rate and on retention of antioxidant capacity in apple leathers. *Food and Bioprocess Processing*, 91(4), 310–318. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2012.11.008>

3. Yilmaz, F. M., Yüksekaya, S., Vardin, H., & Karaaslan, M. (2017). The effects of drying conditions on moisture transfer and quality of pomegranate fruit leather (pestil). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(1), 33–40. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.01.003>

4. Tontul, I., & Topuz, A. (2017). Effects of different drying methods on the physicochemical properties of pomegranate leather (pestil). *LWT – Food Science and Technology*, 80, 294–303. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.02.035>

5. Özkan Karabacak, A., Suna, S., Dorak, S., & Çopur, Ö. U. (2021). Drying characteristics, mineral content, texture and sensorial properties of pumpkin fruit leather. *Latin American Applied Research*, 51(3). <https://doi.org/10.52292/j.laar.2021.753>

6. Valenzuela, C., & Aguilera, J. M. (2013). Aerated apple leathers: effect of microstructure on drying and mechanical properties. *Drying Technology*, 31(16), 1951–1959. <https://doi.org/10.1080/07373937.2013.803979>

7. Deniz, Z., & Suna, S. (2025). Unlocking the potential of elderberry (*Sambucus nigra* L.) fruit leather: optimization of production and evaluation of bioactive content and bioaccessibility using response surface methodology. *Food Chemistry*, 493, 146046. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.146046>.

8. Durgut Malçok, S., Özkan Karabacak, A., Suna, S., Dorak, S., & Çopur, Ö. U. (2023). Application of response surface methodology for optimisation of Cornelian cherry – Cacia pepper leather dried in a heat pump drying system. *Journal of Agricultural Engineering*, 54(3). <https://doi.org/10.4081/jae.2023.1538>.

9. Hoang, Q. B., Do, T. T. L., & Le, T. T. (2021). Changes in antioxidant activity and organoleptic quality of mixed fruit leather during drying and storage. *Engineering and Technology for Sustainable Development*, 31(4), 7–13. <https://doi.org/10.51316/jst.153.etsd.2021.31.4.2>

10. U.S. Food and Drug Administration. Water Activity (aw) in Foods. Retrieved from <https://www.fda.gov/inspections-compliance-enforcement-and-criminal-investigations/inspection-technical-guides/water-activity-aw-foods>.

11. Sagar, V. R., & Kumar, P. S. (2010). Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 47, 15–26. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0010-8>.

12. Corradini, M. G., & Peleg, M. (2007). Shelf-life estimation from accelerated storage data. *Trends in Food Science & Technology*, 18(1), 37–47. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2006.07.011>

13. Alam, M. H., Ahmad, M. H., Imran, M., Rehman, M. U., Khan, M. I., Khan, M. K., Khalid, W., Alharbi, S. A., Aljawdah, H. M., & Madilo, F. K. (2025). Production of stevia-based persimmon fruit leather by microwave oven and its optimization with response surface methodology. *Food Science & Nutrition*, 13(2), e70036. <https://doi.org/10.1002/fsn3.70036>

14. Tontul, I., & Topuz, A. (2017). Spray-drying of fruit and vegetable juices: effect of drying conditions on the product yield and physical properties. *Trends in Food Science & Technology*, 63, 91–102. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.03.009>

15. Taheri-Garavand, A., Karimi, F., Karimi, M., Lotfi, V., & Khoobakht, G. (2018). Hybrid response surface methodology-artificial neural network optimization of drying process of banana slices in a forced convective dryer. *Food Science and Technology International*, 24(4), 277–291. <https://doi.org/10.1177/1082013217747712>

Annotation

Belova I. M, Stadnyk I. Ya.

Optimization of recipe composition and drying modes of craft fruit-vegetable pastila with increased biological value

Fruit-vegetable pastila is a promising intermediate-moisture craft product whose quality is formed by the interaction of formulation composition, pectin structure formation, acidity, water activity and drying mode. For this product, the key technological task is to balance moisture removal, sensory acceptability and retention of biologically active compounds.

The purpose of the article is to substantiate the recipe composition and convective drying conditions of craft fruit-vegetable pastila based on apple, pumpkin and berry purees.

The study is designed as technological modelling based on contemporary international scientific publications in food technology, formulation design principles, factor planning, normalization of partial desirability functions and multicriteria optimization. The optimization factors are pumpkin puree share, berry puree share, drying temperature and layer thickness. A formulation model is substantiated in which apple puree acts as a pectin-containing structural base, pumpkin puree as a source of carotenoids and dietary fibre, and berry puree as a source of organic acids, anthocyanins and phenolic compounds. Based on multicriteria analysis, the ratio of apple, pumpkin and berry purees (55:30:15) is identified as the most substantiated model solution for further experimental validation, with convective drying at 60 °C and a layer thickness of 4 mm. This mode is considered a rational model solution reflecting a compromise between moisture removal rate, retention of bioactive compounds and formation of an elastic structure. The scientific novelty lies in an integrated optimization model combining formulation and process factors with biological value and technological stability criteria.

Key words: *fruit-vegetable pastila, fruit leather, apple puree, pumpkin puree, berry puree, drying, water activity, vitamin C, polyphenols, optimization, food technology.*