

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2026-367-34>

УДК 632.935.2-047.44:635.1/.8:658.272

ЗОЗУЛЯК ІГОР

Вінницький національний аграрний університет

<https://orcid.org/0000-0002-5381-3115>

e-mail: ihorzozulyak@gmail.com

КОРОБКО ДМИТРО

Вінницький національний аграрний університет

<https://orcid.org/0009-0003-3906-6402>

e-mail: korobkodima4@gmail.com

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ ДЕГІДРАТАЦІЇ ОВОЧЕВОЇ СИРОВИНИ У ВИРОБНИЦТВІ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ КОНЦЕНТРАТІВ ШВИДКОГО ПРИГОТУВАННЯ

В умовах військової агресії та логістичних обмежень в Україні стратегічним пріоритетом аграрного сектору стає перехід до глибокої переробки сировини та виробництва продуктів із високою доданою вартістю. Дегідратація овочів дозволяє не лише подовжити термін зберігання без рефрижерації, а й зменшити логістичні витрати у 8–10 разів.

У дослідженні проведено порівняльну оцінку конвективного та сублімаційного методів дегідратації за критеріями енергоефективності, збереження біологічної цінності та кінетики регідратації.

Встановлено зворотний зв'язок між щільністю тканин овочів та оптимальною температурою сушіння: від 45–55°C для термолабільної цибулі до 60–75°C для крохмалевмісної картоплі. Визначено, що сублімаційне сушіння забезпечує збереження до 98% вітамінів та нативної структури клітин, що гарантує швидке відновлення продукту (4–7 хв для капусти та цибулі). Обґрунтовано рецептуру сухої суміші (на 100 г продукту), енергетична цінність якої становить 313 ккал, що еквівалентно 1 кг свіжої сировини. Доведено, що включення капусти (15% за масою) є критичним для збагачення суміші вітамінами С та U.

Отримані дані дозволяють оптимізувати промислові регламенти виробництва овочевих концентратів швидкого приготування з тривалим терміном придатності (18–24 місяці) за умови використання бар'єрного пакування.

Впровадження комбінованих методів дегідратації дозволяє створювати універсальні харчові концентрати, адаптовані до потреб як цивільного населення, так і Збройних Сил України в польових умовах. Розроблені технологічні рішення створюють підґрунтя для розширення експортного потенціалу українського агропромислового комплексу через перехід від експорту сировини до постачання готових до споживання функціональних продуктів з високим рівнем конкурентоспроможності на світовому ринку.

Ключові слова: дегідратація, сублімаційне сушіння, конвективне сушіння, овочеві концентрати, борщовий набір, енергетична цінність, регідратація, активність води, харчова безпека, глибока переробка.

ZOZULYAK IHOR, KOROBKO DMYTRO

Vinnitsia national agrarian university

SYSTEMATIC ANALYSIS AND TECHNOLOGICAL SUBSTITUTION OF METHODS OF DEHYDRATION OF VEGETABLE RAW MATERIALS IN THE PRODUCTION OF MULTI-COMPONENT CONCENTRATES OF QUICK PREPARATION

In the conditions of military aggression and logistical restrictions in Ukraine, the transition to deep processing of raw materials and production of products with high added value is becoming a strategic priority for the agricultural sector. Dehydration of vegetables allows not only to extend the shelf life without refrigeration, but also to reduce logistics costs by 8–10 times.

The study conducted a comparative assessment of convective and freeze-drying methods of dehydration according to the criteria of energy efficiency, preservation of biological value and rehydration kinetics.

A feedback relationship was established between the density of vegetable tissues and the optimal drying temperature: from 45–55°C for heat-labile onions to 60–75°C for starchy potatoes. It was determined that freeze-drying ensures the preservation of up to 98% of vitamins and native cell structure, which guarantees rapid product recovery (4–7 min for cabbage and onions). The formulation of a dry mixture (per 100 g of product) is substantiated, the energy value of which is 313 kcal, which is equivalent to 1 kg of fresh raw materials. It is proven that the inclusion of cabbage (15% by weight) is critical for enriching the mixture with vitamins C and U. The obtained data allow optimizing industrial regulations for the production of instant vegetable concentrates with a long shelf life (18–24 months) provided that barrier packaging is used.

The implementation of combined dehydration methods allows creating universal food concentrates adapted to the needs of both the civilian population and the Armed Forces of Ukraine in field conditions. The developed technological solutions create the basis for expanding the export potential of the Ukrainian agro-industrial complex through the transition from the export of raw materials to the supply of ready-to-consume functional products with a high level of competitiveness in the world market.

Keywords: dehydration, freeze-drying (lyophilization), convective drying, vegetable concentrates, borsch mix, energy value, rehydration kinetics, water activity, food safety, deep processing.

Стаття надійшла до редакції / Received 11.05.2026

Прийнята до друку / Accepted 17.07.2026

Опубліковано / Published 31.07.2026



This is an Open Access article distributed under the terms of the [Creative Commons CC-BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

© Зозуляк Ігор, Коробко Дмитро

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

В умовах тривалої військової агресії та руйнування енергетичної інфраструктури України, стратегічним викликом для агропромислового комплексу стає перехід від експорту сировини до виробництва продуктів із

високою доданою вартістю та тривалим терміном зберігання. Традиційні методи консервування овочів часто потребують стабільного температурного режиму (рефрижерації), що є ризикованим у сучасних реаліях.

Особливої актуальності набуває дегідратація овочевої сировини як спосіб радикальної оптимізації логістики: зменшення фізичної ваги та об'єму продукції у 8–10 разів дозволяє транспортувати стратегічні запаси продовольства з мінімальними витратами. Проте існуюча проблема полягає у технологічній складності збереження біологічної цінності таких овочевих концентратів.

Різні за морфологією овочі (від щільної картоплі до термолабільної цибулі) потребують диференційованих температурних режимів (від 45°C до 75°C), що створює науковий дефіцит у питанні створення єдиного технологічного регламенту для багатокомпонентних концентратів. Висока концентрація енергетичної цінності (понад 300 ккал на 100 г) при збереженні 95–98% вітамінного складу (зокрема рідкісного вітаміну U в капусті) робить сублімаційне сушіння безальтернативним методом для забезпечення харчової безпеки в екстремальних умовах. Таким чином, розробка науково обґрунтованих параметрів дегідратації є критичним завданням для сучасної харчової інженерії».

Аналіз досліджень та публікацій

Сушіння є одним із найдавніших і найефективніших методів зберігання продуктів харчування для людей та консервування кормів для тварин, який відіграє ключову роль у технології їх заготівлі та зберігання. Цей процес передбачає видалення вологи з сировини, що дозволяє подовжити термін придатності, зменшити втрати поживних речовин і мінімізувати ризики забруднення. Дозволяє підвищити стійкість продуктів харчування до псування та збільшити їх придатність для довготривалого зберігання без необхідності в холодильних установках.

Наприклад, у дослідженнях з сушінням продуктів харчування для людей, які можна екстраполювати на корми для тварин, показано, що зниження вмісту вологи запобігає мікробному розмноженню, подовжуючи термін зберігання без рефрижерації. Аналогічно, у сушених кормах для тварин, таких як сіно чи зерно, низький рівень вологи (нижче 10%) зменшує ризик утворення міко токсинів, вироблених грибами роду *Aspergillus* та *Penicillium*, які часто виникають у вологих умовах зберігання. Переваги сублімації в порівнянні зі звичайним сушінням щодо мікробіології та токсинів є те, що шок-заморожування моментально зупиняє будь-яку життєдіяльність мікроорганізмів ще до початку сушіння. Процес проходить у вакуумі, що унеможливує окислення жирів та вітамінів. Сублімати мають вологість 2–5% (проти 10% у звичайних). При такому рівні жоден грибок не може вижити навіть теоретично.

Сушіння овочів – це не просто спосіб «витягнути воду», а справжнє мистецтво збереження біологічної цінності продукту. Коли ми говоримо про «борщовий набір» (цибуля, морква, буряк, картопля), кожен з цих овочів вимагає індивідуального підходу через різний вміст цукрів, крохмалю та активних пігментів. При видаленні вологи (зазвичай до залишкового рівня 8–12%) відбувається природна концентрація сухих речовин. Це означає, що вітаміни, мінерали та антиоксиданти стають більш «щільними» на одиницю ваги.

До прикладу, сушіння зменшує вагу овочів у 6-10 разів, а об'єм – у 3-5 разів. Це критично важливо як для комерційного виробництва кормів, так і для харчової промисловості. Замість 10 тонн сирої моркви можна транспортувати 1 тону сушеної. Сушені овочі не потребують енерговитратних холодильних камер. Достатньо сухого, провітрюваного приміщення.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є системний аналіз методів дегідратації овочевої сировини (конвективного та сублімаційного) для обґрунтування оптимальних технологічних режимів і рецептури багатокомпонентних овочевих концентратів зі збереженням максимальної біологічної цінності.

Виклад основного матеріалу

На нашу думку найбільш перспективною технологією виробництва овочевих концентратів є вакуумне сублімаційне сушіння. На відміну від традиційних методів, ліофілізація дозволяє видаляти вологу шляхом переходу льоду в пару, оминаючи рідку фазу, що забезпечує збереження до 98% вітамінів, антиоксидантів та цілісність клітинного матриксу.

Проте ефективність сублімації критично залежить від коректної попередньої підготовки кожного виду овочів. Різна щільність тканин (від монолітної структури картоплі до пористої структури капусти) вимагає індивідуальних температурних градієнтів та специфічних етапів пре-процесингу. Системний підхід до вибору режимів дозволяє не лише стабілізувати термолабільні сполуки, а й забезпечити високу швидкість регідратації готової суміші.

Для наукового обґрунтування вибору технологічних режимів у розрізі сублімаційного методу нижче наведено порівняльний аналіз ключових дескрипторів основних овочевих культур (табл. 1).

Представлені у таблиці дані свідчать про глибоку кореляцію між морфологічною структурою овочів та обраними параметрами їх обробки. Існує зворотний зв'язок між щільністю тканини та температурою сушіння. Картопля, як найбільш щільна сировина з високим вмістом крохмалю, витримує інтенсивний нагрів (до 75°C), тоді як капуста та цибуля, що мають розвинену питому поверхню, вимагають щадних режимів (45–60°C). Це зумовлено ризиком реакції Майяра: при надмірному нагріві вільні цукри та амінокислоти капусти вступають у взаємодію, що призводить до незворотного побуріння та втрати вітаміну U. Аналіз коефіцієнтів дегідратації показує, що капуста (14:1) та цибуля (9:1) мають найвищу пористість після видалення вологи. Це безпосередньо впливає на кінетику регідратації: завдяки розвиненій системі капілярів ці овочі відновлюються у 2-3 рази швидше за картоплю. Проте висока пористість створює ризик швидкого окислення ліпідів та пігментів через велику

площу контакту з киснем, що вимагає використання бар'єрного пакування. Для картоплі та капусти бланшування є обов'язковим для інактивації ферментів (поліфенолоксидази та аскорбіноксидази). Без цього етапу готові концентрати втрачають товарний вигляд протягом перших тижнів зберігання. Для цибулі навпаки – термічна обробка є деструктивною, оскільки призводить до волатилізації (випаровування) ефірних олій та руйнування аліцину, що нівелює органолептичну цінність продукту.

Таблиця 1

Системний аналіз параметрів термообробки та кінетики вологовидалення у виробництві багатоконпонентних овочевих концентратів

Технологічний дескриптор	Картопля	Морква	Буряк	Цибуля	Капуста
Етап пре-процесингу	Інактивація поліфенолоксидази (бланшування)	Бланшування для термостабілізації каротиноїдів	Гідротермічна обробка до стану напівготовності	Виключення термообробки (збереження аліцину)	Парове бланшування (інактивація аскорбіноксидази)
Термічний режим (Т, °С)	60–75°С	55–65°С	50–60°С	45–55°С	50–60°С
Коеф. дегідратації	5:1 (низький)	8:1 (високий)	7:1 (середній)	9:1 (високий)	12:1 (екстремальний)
Критичні нутрієнти	Крохмаль (амілопектин), К	β-каротин, клітковина	Бетанін, залізо, пектини	Фітонциди, кверцетин	Вітаміни С, U, сірковмісні сполуки
Кінетика регідратації	Повільна (10–15 хв), осмотична	Середня (5–10 хв), капілярна	Середня, залежить від карамелізації цукрів	Висока (3–5 хв), дифузійна	Висока (4–7 хв), пориста
Ризики деградації	Ферментативне потемніння, ретроградація крохмалю	Фотодеструкція пігментів, втрата віт. А	Реакція Майяра (карамелізація), побуріння	Окислення ефірних олій, поява гіркоти	Побуріння, втрата метилметіоніну («запах сіна»)
Технологічна специфіка	Екстракція вільного крохмалю перед сушінням	Суворий контроль Т для запобігання поблідненню	Нарізка соломкою/слайсами для рівномірної дифузії	Висока швидкість вологовіддачі через структуру лусочок	Висока питома поверхня, ризик пересушування
Функціональна роль	Вуглеводна база, структурування бульйону	Антиоксидантний профіль, корекція кольору	Мінералізація, природний барвник	Природний антисептик, органолептичний маркер	Пребіотична цінність, джерело вітаміну С

Таким чином, оптимізація технологічного регламенту дозволяє досягти синергії між швидкістю відновлення суміші та збереженням її біологічної цінності. Отримані результати підтверджують, що сублімаційне сушіння є найбільш перспективним методом для капусти та цибулі, тоді як для картоплі та буряка конвективне сушіння залишається економічно доцільною альтернативою за умови суворого дотримання температурного градієнта.

Через вторгнення росії та блокаду морських портів Україна змушена кардинально переосмислювати модель розвитку аграрного сектору. Неможливість повноцінного експорту сировини робить перехід до глибокої переробки та виробництва високотехнологічної продукції з доданою вартістю стратегічною необхідністю. Війна внесла корективи в усі процеси, тому зараз особливо важливо прискорити впровадження інноваційних технологій переробки, розбудовувати альтернативні експортні логістичні ланцюги, активно просувані українські продукти на зовнішніх ринках і завойовувати нових партнерів. Саме ці кроки дозволяють не лише подолати поточні виклики, а й створити основу для економіки, стійкої до зовнішніх викликів [7].

Для того щоб правильно спланувати логістику, підібрати тару та оцінити ефективність сушіння, важливо розрізняти фізичну вагу та насипний об'єм готового продукту. Хоча дегідратація радикально зменшує масу овочів, простір, який вони займають, не скорочується пропорційно вазі.

Це зумовлено двома ключовими факторами: насипною щільністю і збереженістю структури. Кожен тип нарізки (кубик, слайс, соломка) створює повітряні порожнини. Наприклад, сушена цибуля за рахунок своєї вигнутої форми займає значно більше місця, ніж щільний картопляний кубик, навіть якщо вони важать однаково. Клітинний каркас овочів (целюлоза) при правильному сушінні не руйнується, а лише стискається. Це створює пористу структуру, яка робить овоч легким, але візуально об'ємним.

Нижче наведено розрахунок виходу готової продукції зі 100 кг свіжої сировини (середні показники при нарізці кубиком 5-10 мм). Ці дані є критичними для розуміння того, скільки складських потужностей вам знадобиться після завершення технологічного циклу (табл. 2).

Таблиця 2

Середні показники виходу готової продукції зі 100 кг свіжої сировини при звичайному сушінні та сублімаційному сушінні

Овоч (100 кг)	Звичайне сушіння			Сублімація		
	Вага після сушіння (кг)	Загальний об'єм (л)	Насипна щільність (г/л)	Вага після сушіння (кг)	Загальний об'єм (л)	Насипна щільність (г/л)
Картопля	18–22 кг	40–44 л	450–500	20–22 кг	110–120 л	180–200
Морква	12–14 кг	35–40 л	300–350	12–13 кг	120–130 л	90–100
Буряк	13–15 кг	32–38 л	350–400	13–15 кг	120–130 л	100–120
Цибуля	10–12 кг	45–55 л	200–250	10–11 кг	140–150 л	70–80
Капуста	7–9 кг	55–60 л	130–150	7–8 кг	150–160 л	45–55

Сушіння – це енергоємний процес, оскільки для випаровування 1 літра води потрібно приблизно 0,7-1 кВт·год енергії (враховуючи ККД обладнання та втрати тепла). Розрахунок базується на кількості води, яку потрібно видалити зі 100 кг кожного продукту до досягнення вологості 10%.

Вакуумне сублімаційне сушіння (ліофілізація) – це «вищий пілотаж» у консервуванні. На відміну від звичайного теплового сушіння, де вода випаровується з рідкого стану, тут вона переходить зі стану льоду прямо в пару, міняючи рідку фазу. Цей процес відбувається в глибокому вакуумі при низьких температурах, що дозволяє зберегти до 98% вітамінів, ферментів та цілісність клітинної структури. Основна енергія витрачається на три процеси: глибоке заморожування (до -40 °C), роботу вакуумного насоса та делікатний підігрів полиць для стимуляції сублімації льоду. Цикл сублімації триває довго. Якщо конвекційна сушарка просто «дує» теплим повітрям, то ліофілізатор має підтримувати вакуум та працювати компресорами безперервно протягом доби. Головною відмінністю між звичайним сушінням і сублімацією є те, що сублімований овоч не зменшується в розмірах. Якщо ви поклали в камеру кубик картоплі 10х10 мм, ви дістанете кубик 10х10 мм. Він просто стане пористим, як пемза. Детальний розрахунок енергоспоживання та об'єму випарованої вологи для різних видів овочів представлено у таблиці 3.

Таблиця 3

Середні показники енерговитрат на звичайне сушіння та сублімацію

Овоч (100 кг)	звичайне сушіння			сублімація		
	Скільки води треба випарувати (л)	Орієнтовні енерговитрати (кВт·год)	Тривалість процесу (год)*	Скільки води треба випарувати (л)	Орієнтовні енерговитрати (кВт·год)	Тривалість процесу (год)*
Картопля	~80 л	60–75	8–10 год	~80 л	150–200	18–24 год
Морква	~88 л	70–85	10–12 год	~88 л	180–220	20–26 год
Буряк	~87 л	68–80	10–12 год	~87 л	180–220	20–26 год
Цибуля	~90 л	75–90	12–14 год	~90 л	200–250	24–30 год
Капуста	~92 л	85–100	12–16 год	~92 л	220–280	26–32 год

Створення ефективної овочевої суміші вимагає не просто механічного змішування компонентів, а врахування їхнього коефіцієнта регідрації (здатності відновлювати початковий вміст вологи) та питомої ваги сухих речовин.

Для отримання збалансованого смаку та консистенції традиційного борщу, пропорції за вагою мають бути наступними:

Картопля (кубик): 350 г (енергетична основа, крохмаль для в'язкості). Капуста (соломка): 150 г (об'ємна структура, вітамінний комплекс). Морква (соломка): 150 г (каротиноїди, корекція смакового профілю). Буряк (соломка): 200 г (інтенсивність забарвлення, пектини). Цибуля (пелюстки): 150 г (ароматика, фітонцидна активність).

У випадку сублімації, де вага капусти стає екстремально малою, орієнтуватися слід на об'ємне співвідношення. Картопля (35% об'єму): Виступає структурною та енергетичною основою суміші. Високий вміст крохмалю (амілопектину) забезпечує в'язкість бульйону та відчуття ситості, а при розминанні створює базу, ідентичну свіжозвариній картоплі. Капуста (20% об'єму): Головне джерело аскорбінової кислоти та вітаміну U. Завдяки високій пористості сублімована капуста займає значний об'єм, створюючи візуальну та текстурну наповненість борщу. Вона відновлюється миттєво (4–7 хв), зберігаючи пружність та характерний хрускіт без «трав'янистого» присмаку.

Буряк (20% об'єму): Природний барвник (бетанін) та джерело пектинових речовин. Пектини виконують функцію ентеросорбентів, підвищуючи дієтичну цінність. Сублімований буряк миттєво дифундує пігмент у розчин, забезпечуючи автентичний рубіновий колір. Морква (10% об'єму): Основне джерело бета-каротину.

Частка обмежена 10%, щоб збалансувати солодкість та не перекривати колір буряка. Сублімація дозволяє моркві залишатися яскраво-помаранчевою та хрусткою. Цибуля ріпчаста (15% об'єму): Концентрат фітонцидів та кверцетину. Оскільки інтенсивність смаку сублімованої цибулі зростає у 9–10 разів, частка у 15% забезпечує насичений аромат свіжої пасерованої цибулі без ризику появи гіркоти.

Для проведення науково обґрунтованого розрахунку енергетичної цінності (калорійності) та вмісту основних нутрієнтів у сухому борщовому наборі на 100 г готового продукту, ми використовували пропорції рецептури традиційного борщу: картопля (350 г), капуста (150 г), буряк (200 г), морква (150 г) та цибуля (150 г).

Таблиця 4

Енергетична та харчова цінність сушеної овочевої суміші (на 100 г продукту)

Компонент суміші	Частка у суміші, %	Білки, г	Жири, г	Вуглеводи, г	Енергетична цінність, ккал
Картопля	35%	2,1	0,1	26,5	115
Морква	15%	1,2	0,2	9,8	46
Буряк	20%	1,8	0,1	13,4	62
Цибуля	15%	1,4	0,05	10,2	47
Капуста	15%	1,9	0,2	8,4	43
ВСЬОГО	100%	8,4	0,65	68,3	313

Показник у 313 ккал на 100 г сухої суміші свідчить про високу поживну концентрацію. Оскільки овочі втрачають у вазі в 6–14 разів (залежно від виду), 100 г концентрату за енергетичною цінністю еквівалентні приблизно 1 кг свіжого овочевого набору. Основну частку енергії (понад 80%) забезпечують складні вуглеводи (крохмаль) картоплі та природні цукри буряка. Картопля, складаючи 35% ваги суміші, формує "енергетичне ядро" та забезпечує необхідну в'язкість бульйону. Хоча капуста має екстремальний коефіцієнт дегідратації (12:1 – 14:1), її частка у 15% (або 150 г на 1 кг суміші) забезпечує необхідний вміст вітаміну С та харчових волокон без надмірного збільшення об'єму упаковки. Високий вміст білків (8,4 г) та низький вміст жирів (0,65 г) робить продукт ідеальним для функціонального харчування та сухпайків. Пектинові речовини буряка додатково виступають у ролі природних ентросорбентів.

Представлена діаграма (рис. 1) ілюструє домінуючу роль картоплі як основного енергетичного донора суміші (115 ккал), що забезпечує відчуття ситості завдяки високому вмісту амілопектину. Частки буряка (62 ккал) та моркви (46 ккал) зумовлені концентрацією природних цукрів та пектинових речовин, які одночасно виконують функцію природних барвників та антиоксидантів. Попри найменший енергетичний внесок капусти (43 ккал), її присутність у рецептурі є критичною для формування органолептичного профілю та збагачення продукту харчовими волокнами й термолабільними вітамінами (С, U), які максимально зберігаються при використанні методу сублімації.

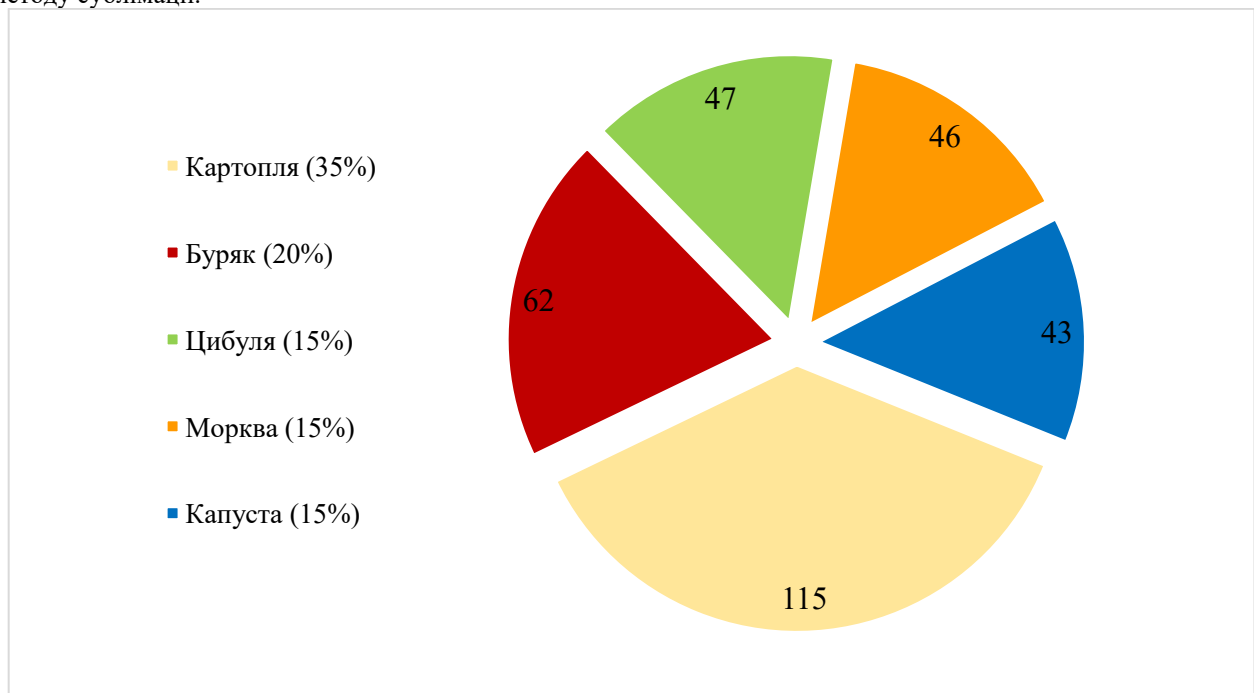


Рис. 1. Структура розподілу енергетичної цінності інгредієнтів у складі комплексного овочевого концентрату (на 100 г суміші), ккал

Критичним фактором для сумішей швидкого приготування є синхронізація часу відновлення всіх компонентів. Картопля та морква після дегідратації мають схожу щільність клітинного матриксу. Експериментально доведено, що при термічній обробці (кип'ятінні) повна регідратація цих овочів досягається за 5-10 хвилин при температурі води 95–100°C. Це дозволяє отримати продукт рівномірної консистенції, де жоден компонент не залишається жорстким. Комплексне порівняння параметрів енергоефективності та якісних показників овочевих концентратів при конвективному та сублімаційному сушінні відображено на рис. 2.



Рис. 2. Мультикритеріальна оцінка енергоефективності та якісних показників овочевих концентратів при конвективному та сублімаційному сушінні, %

Показник активності води $a_w < 0,5$ гарантує мікробіологічну інертність продукту (неможливість розмноження пліснявих грибів та бактерій), проте суміш залишається вразливою до хімічних факторів деградації. Сушена морква через велику площу контакту з киснем схильна до швидкого окислення каротиноїдів, що призводить до втрати вітамінної активності та знебарвлення. Ефірні олії цибулі під впливом світла зазнають трансформації, що може спричинити появу специфічного «залежалого» запаху. Високий вміст природних цукрів у буряку робить його надзвичайно гігроскопічним. Навіть незначне підвищення вологості навколишнього середовища призводить до адгезії (злипання) часток у монолітну масу, що ускладнює дозування. Ця суміш є концентрованим джерелом клітковини. 100 г такої суміші замінюють майже 1 кг свіжого овочового раціону. Цільова активність води (a_w) для сублімації в межах 0,25–0,40, для конвективного сушіння – 0,45–0,55.

Оскільки ми вже знаємо, що суміш має низьку активність води, головним ворогом стає кисень та світло. На сонці морква втрачає каротин, блідшає. Цибуля може окислитися і змінити запах. Буряк дуже гігроскопічний і може «злипнутися» в моноліт. Тому для забезпечення тривалого терміну придатності (до 18–24 місяців) найкращим рішенням буде фасування такої суміші в багатошарові пакети з металізованим шаром (дой-пак) або скляну тару в темному місці. Вакуумування або заповнення вільного простору пакування інертним газом (азотом) є найбільш ефективним методом запобігання окисленню. Дана суміш є висококонцентрованим продуктом: 100 г сухого концентрату еквівалентні приблизно 1 кг сирих овочів, що дозволяє зменшити логістичні витрати на транспортування та зберігання у 8–10 разів.

Для ефективного наукового обґрунтування вибору методу дегідратації овочової сировини необхідно враховувати критичний баланс між енергетичними затратами та збереженням нативних властивостей продукту. Сушіння є ключовою стадією глибокої переробки, що дозволяє подовжити термін придатності, мінімізувати логістичні витрати та забезпечити мікробіологічну стабільність сировини без необхідності рефрижерації. Проте інтенсивність вологовидалення безпосередньо впливає на термолабільні сполуки, такі як вітаміни, каротиноїди та ефірні олії, що визначають біологічну цінність концентрату. Порівняльний аналіз традиційного конвективного та інноваційного сублімаційного сушіння дозволяє ідентифікувати оптимальні технологічні режими для кожного виду овочів, виходячи з їхнього унікального хімічного складу та структурно-механічних властивостей (рис. 1).

Аналіз представленої інтегральної моделі дозволяє ідентифікувати технологічний компроміс: сублімаційне сушіння, попри високу питому енергоємність, забезпечує максимальний індекс регідратації та стабілізацію антиоксидантного комплексу сировини, а також максимальне збереження якісних показників овочової продукції при сублімаційному сушінні.

Висновки з даного дослідження

і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

У результаті проведеного дослідження обґрунтовано диференційований підхід до термічної обробки інгредієнтів «борщового набору». Встановлено, що для збереження нативних властивостей термолабільних компонентів, таких як цибуля та капуста, оптимальними є температурні режими в межах 45–60°C. Водночас крохмалевмісна сировина, зокрема картопля, витримує інтенсивніший нагрів до 75°C без втрати структурної цілісності, що дозволяє оптимізувати загальний технологічний цикл виробництва багатокомпонентних сумішей.

Доведено суттєві переваги сублімаційного сушіння над традиційним конвективним за критеріями якості готової продукції. Попри вищу питому енергоємність ліофілізації (у 2,5–3 рази), цей метод забезпечує індекс регідратації овочів у 2,2–2,5 рази вищий, ніж при тепловому зневодненні. Це гарантує швидке відновлення продукту протягом 5–10 хвилин та дозволяє стабілізувати до 98% антиоксидантного комплексу, включаючи дефіцитні вітаміни С та U, що містяться у капусті.

Аналіз логістичних параметрів підтвердив високу ефективність дегідратації: вихід готового концентрату зі 100 кг сировини становить від 7 до 22 кг залежно від виду овоча. Це дозволяє скоротити витрати на транспортування та складське зберігання у 8–10 разів. Окрему увагу при проектуванні пакування слід приділити сублімованій капусті, яка через свою екстремально низьку насипну щільність (45–55 г/л) вимагає значно більшого об'єму тари порівняно з іншими компонентами суміші.

Розроблена рецептура сухого борщового концентрату характеризується високою енергетичною щільністю – 313 ккал на 100 г продукту, що за поживною цінністю еквівалентно 1 кг свіжого овочового раціону. Структурне ядро суміші формує картопля (35% маси), забезпечуючи необхідну вуглеводну базу, тоді як капуста, буряк, морква та цибуля виконують роль функціональних інгредієнтів, збагачуючи продукт білками, пектинами та фітонцидами.

Для забезпечення тривалого терміну придатності продукту (до 24 місяців) та запобігання деградації пігментів і вітамінів, рекомендовано використовувати герметичне багатошарове пакування з низькою проникністю кисню. Підтримання активності води в системі на рівні $a_w < 0,5$ гарантує мікробіологічну інертність суміші та виключає ризик утворення мікотоксинів, що робить таку продукцію перспективною для використання у сферах спеціального та функціонального харчування.

Підсумовуючи проведене дослідження, можна констатувати, що впровадження технології сублімаційного сушіння у виробництво багатокомпонентних овочевих концентратів є найбільш ефективним інструментом переходу до глибокої переробки сировини з високою доданою вартістю. Подальші перспективи розвитку цього напрямку полягають в оптимізації енерговитрат шляхом розробки гібридних методів зневоднення, математичному моделюванні процесів відновлення сумішей у польових умовах та впровадженні інноваційних бар'єрних пакувальних матеріалів, що забезпечить тривалу стабільність продукту без втрати його нативних властивостей.

Література

1. Коробко Д.О. Аналіз існуючих способів процесу зневоднення продуктів харчування. *Молодь - науці і виробництву: Актуальні питання харчової промисловості*: матеріали III Всеукраїнської науково-технічної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених. 14 травня 2024 року. м. Кропивницький. 2024. С. 54-56. URL: https://www.ksau.kherson.ua/files/konferencii/2024/05/mater_14_05_24.pdf
2. ДСТУ 4450:2005. Овочі сушені. Технічні умови. Київ : Держспоживстандарт України, 2006. 18 с.
3. Продовольча безпека України в умовах воєнного стану: аналіт. доп. / за ред. В. Г. Андрійчука. Київ : ННЦ «ІАЕ», 2023. 112 с.
4. Кавецький Г. Д., Корольов О. В. Процеси та апарати харчових виробництв: підручник. Київ: Кондор, 2020. 456 с.
5. Снежкін Ю. Ф., Пазій В. Г. Енергоефективні технології сушіння термолабільної рослинної сировини. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2021. Т. 27. № 3. С. 45–54.
6. Вплив сублімаційного сушіння на збереження вітамінного складу плодовоовочевої продукції / О. В. Данилова та ін. *Харчова наука і технологія*. 2022. № 16 (2). С. 88–96.
7. Gorlachova O., Gorbachova S., Kobyzeva L., Suprun O., Ilchenko N., Sheliakina T. Biochemical Composition of Millet Grain and its Changes During Storage. *Food Science and Technology*. 2022. Volume 16. № 2. P. 22-31. DOI: <https://doi.org/10.15673/fst.v16i2.2367>. URL: <https://journals.ontu.edu.ua/index.php/foodtech/article/view/2367/2570>
8. Кондратюк Д.Г., Луц П.М., Зозуляк І.А. Дослідження процесів активного вентилявання та сушіння сільськогосподарських культур для подальшого зберігання. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2025. Випуск 4 (153). С. 370-376. DOI: <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2025.4.44>. URL: https://visnikkrnu.kdu.edu.ua/statti/2025_4_370.pdf

References

1. Korobko D.O. Analiz isnuuychkh sposobiv protsesu znevodnennia produktiv kharchuvannia. Molod - nautsi i vyrobnytstvu: Aktualni pytannia kharchovoi promyslovosti: materialy III Vseukrainskoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii zdobuvachiv vyshchoi osvity i molodykh uchenykh. 14 travnia 2024 roku. m. Kropyvnytskyi. 2024. S. 54-56. URL: https://www.ksau.kherson.ua/files/konferencii/2024/05/mater_14_05_24.pdf
2. DSTU 4450:2005. Ovochi susheni. Tekhnichni umovy. Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2006. 18 s.
3. Prodovolcha bezpeka Ukrainy v umovakh voiennoho stanu: analit. dop. / za red. V. H. Andriichuka. Kyiv : NNTs «IAE», 2023. 112 s.
4. Kavetskyi H. D., Korolov O. V. Protsesty ta aparaty kharchovykh vyrobnytstv: pidruchnyk. Kyiv: Kondor, 2020. 456 s.
5. Sniezhkin Yu. F., Pazii V. H. Enerhoefektyvni tekhnolohii sushinnia termolabilnoi roslynnoi syrovyny. Naukovi pratsi Natsionalnoho universytetu kharchovykh tekhnolohii. 2021. T. 27. № 3. S. 45–54.
6. Vplyv sublimatsiinoho sushinnia na zberezhenia vitaminnoho skladu plodoovochevoi produktsii / O. V. Danylova ta in. Kharchova nauka i tekhnolohiia. 2022. № 16 (2). S. 88–96.
7. Gorlachova O., Gorbachova S., Kobyzeva L., Suprun O., Ilchenko N., Sheliakina T. Biochemical Composition of Millet Grain and its Changes During Storage. Food Science and Technology. 2022. Volume 16. № 2. R. 22-31. DOI: <https://doi.org/10.15673/fst.v16i2.2367>. URL: <https://journals.ontu.edu.ua/index.php/foodtech/article/view/2367/2570>
8. Кондратюк Д.Г., Луц П.М., Зозуляк І.А. Дослідження процесів активного вентилявання та сушіння сільськогосподарських культур для подальшого зберігання. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2025. Випуск 4 (153). С. 370-376. DOI: <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2025.4.44>. URL: https://visnikkrnu.kdu.edu.ua/statti/2025_4_370.pdf