

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2026-369-11>
УДК 664.87

БОБЕЛЬ ІННА

Національний університет харчових технологій
<https://orcid.org/0000-0002-6334-4789>
e-mail: inna_3@ukr.net

ФАЛЕНДИШ НАТАЛІЯ

Національний університет харчових технологій
<https://orcid.org/0000-0002-2571-3643>
e-mail: falendysh96@gmail.com

КАМБУЛОВА ЮЛІЯ

Національний університет харчових технологій
<https://orcid.org/0000-0001-7897-8533>
e-mail: kambulova.julya@ukr.net

ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ СУШІННЯ ТА ЯКІСТЬ ОРГАНІЧНИХ ГАРБУЗОВИХ ЧІПСІВ

На теперішній час в Україні та світі набуває розвитку та зростає ринок снеків. Їх виробництво є повноцінною складовою харчової індустрії та представляє сталий сегмент на вітчизняному та світовому ринку. Українські виробники впроваджують сучасні технології, які передбачають використання раціональних методів сушіння, постійно розширюють асортимент та впевнено конкурують із зарубіжними виробниками. Снеки стають не тільки перекусом, а й набувають статус елементів харчової культури. Снеки нового покоління не лише смачні, але й безпечні та корисні, що в значній мірі, залежить від сировини та технології виготовлення.

Органічні продукти мають нижчий рівень залишків пестицидів. Тому, споживання органічних овочів, фруктів та снеків може сприяти зменшенню хімічного навантаження на всі життєдіяльні органи та системи людини [1].

В окремих випадках, органічні продукти мають вищий рівень поліфенолів та антиоксидантів. Їх харчова цінність також залежить від способу обробки (сушіння) [2].

В статті наведені результати дослідження та наукового обґрунтування процесу зневоднення (сушіння) гарбуза в процесі виробництва органічних чіпсів.

Враховуючи високу популярність снекової продукції, в т.ч. на органічному ринку, перспективність використання органічного гарбуза для виробництва чіпсів, враховуючи багатий хімічний склад та корисні властивості, обсяги його вирощування в Україні та експорту за кордон, проведення таких досліджень є доцільним і своєчасним.

Щоб досягнути мети роботи, були сформульовані завдання, які полягали у порівняльному аналізі використання конвективного та конвективно-інфрачервоного способів сушіння скибочок гарбуза, для отримання чіпсів з високими якісними показниками та збереженням харчової цінності. Кінетику процесу сушіння вивчали на сушильній установці, яка надає можливість здійснювати інфрачервоне та конвективне сушіння як окремими режимами, так і у їх комбінованому виконанні.

В ході досліджень встановлено, що при комбінованому способі сушіння, при виробництві гарбузових чіпсів із органічної сировини, час сушіння зменшується в 1,8 рази порівняно з конвективним способом, що дозволяє зменшити витрати енергоресурсів, втрати корисних поживних речовин та краще зберегти харчову цінність продукту, що є особливо актуальним при виробництві органічної продукції. З метою надання необхідних органолептичних показників продукту запропоновано при виробництві гарбузових чіпсів обробляти сировину сольовим розчином концентрацією 1 %.

Ключові слова: органічні продукти, гарбуз, чіпси, сушіння.

BOBEL INNA, FALENDYSH NATALIA, KAMBULOVA YULIA

National University of Food Technology

TECHNOLOGICAL ASPECTS OF DRYING AND QUALITY OF ORGANIC PUMPKIN CHIPS

The snack market is currently developing and growing in Ukraine and around the world. Snack production is an integral part of the food industry and represents a stable segment of both the domestic and global markets. Ukrainian manufacturers are adopting modern technologies that involve the use of efficient drying methods, are constantly expanding their product range, and are confidently competing with foreign manufacturers. Snacks are becoming not just a snack, but are also gaining the status of elements of food culture. New-generation snacks are not only tasty, but also safe and healthy, which largely depends on the raw materials and production technology.

Organic products contain lower levels of pesticide residues. Therefore, eating organic vegetables, fruit and snacks can help reduce the chemical burden on all the body's vital organs and systems [1].

In some cases, organic products contain higher levels of polyphenols and antioxidants. Their nutritional value also depends on the processing method (drying) [2].

This article presents the results of a study and the scientific basis for the process of dehydrating (drying) pumpkin during the production of organic chips.

In view of the high popularity of snack products, including in the organic market, and the promising prospects for using organic pumpkin to produce chips, taking into account its rich chemical composition and beneficial properties, as well as the scale of its cultivation in Ukraine and exports abroad, conducting such research is both appropriate and timely.

In order to achieve the aim of the study, tasks were formulated based on a comparative analysis of the use of convective and convective-infrared drying methods for pumpkin slices, with the aim of producing high-quality chips and preserving nutritional value. The kinetics of the drying process were studied on a drying machine that allows the realization of infrared and convective drying both as separate modes and in a combined configuration.

Studies have shown, that using a combined drying method for the production of pumpkin chips from organic raw materials, the drying time is reduced by a factor of 1.8 compared to the convective method, enabling a reduction in energy consumption and the loss of beneficial nutrients, whilst better preserving the nutritional value of the product, which is particularly relevant in the production of organic products. In order to achieve the required organoleptic characteristics of the product, it is proposed to treat the raw material with a 1% salt solution during the production of pumpkin chips.

Keywords: organic products, pumpkin, chips, drying.



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

Продукції снекової групи має стабільний попит як в Україні, так і в усьому світі. Снекова продукція найбільше користується попитом серед покоління мелініалів.

Для значної кількості снеків характерні певні недоліки, а саме: незбалансований склад основних складових, низька поживна цінність та висока енергетична цінність [3].

Серед снекової групи, найбільш популярними, протягом багатьох років, є картопляні чіпси. Проте, в останні роки, помітно збільшилося виробництво та споживання чіпсів з іншої овочової сировини та фруктів. Це високоякісні харчові продукти, з вираженими смаковими властивостями, що є альтернативою для чіпсів картопляних. Технологічний процес виготовлення цих чіпсів не передбачає етапу обсмажування і, відповідно, не включає використання жирів. Попит на чіпси овочеві та фруктові збільшується, що викликано зростаючим інтересом споживачів до здорового харчування, а також поширенням тренду та культури споживання сушеної плодовоовочової продукції як самостійної харчової одиниці.

Снекова продукція займає певний провідний сегмент ринку серед органічної продукції в різних країнах світу [4]. Для задоволення попиту такої продукції органічним виробникам необхідно швидко реагувати та адаптуватися, створюючи привабливі та корисні інноваційні продукти. Розвиток органічного ринку снеків, забезпечить українським операторам розширення ринків збуту як в Україні, так і за її межами.

Виробництво органічних снеків в Україні — це ніша, що швидко адаптується до світових трендів здорового харчування, локальних потреб та стандартів ЄС. Виробники пропонують покупцям якісні альтернативи: фруктові-ягідні пастили, сублімовані продукти, екструдовані злакові снеки та овочеві чіпси, вироблені без штучних добрив.

Тренд на органічні продукти, а відповідно і органічне виробництво в Україні набуває динамічного розвитку. Ринок пропонує споживачам снекову органічну продукцію українського та закордонного виробництва.

Провідні органічні виробники України, які пропонують сертифіковані органічні снеки: Brancho (ТОВ «Бранчо Україна»): спеціалізується на фруктові-ягідних снеках та чіпсах, що висушуються за низьких температур; GOBIO: виробляє екструдовані снеки: рисові, кукурудзяні, горохові та мультизлакові кульки, палички та хлібці, які вважаються дієтичними; Стодола: розвиває лінійки функціональних органічних снеків спільно з нутриціологами для підтримки цілодобового бізнесу.

Одним із перспективних напрямів у виробництві органічних снеків є використання гарбуза як цінної плодовоовочової сировини. Це обумовлено багатим хімічним складом гарбуза та його легкою засвоюваністю організмом людини [2]. Гарбуз характеризується значною харчовою та дієтичною цінністю. Важливою складовою гарбуза є клітковина, яка має цінний хімічний склад. Клітковина покращує роботу кишківника, за рахунок нормалізації роботи його корисної мікрофлори та сприяє виведенню з організму різних токсичних речовин, які надходять до організму із зовнішнього середовища (еко- та екзотоксини), або утворюються в ньому в результаті процесів життєдіяльності (ендотоксини). Гарбуз характеризується багатим вітамінним складом і є важливим джерелом каротиноїдів, насамперед β -каротину, а також вітамінів С, Е та групи В. Завдяки високому вмісту біологічно активних речовин гарбуз має значну харчову та функціональну цінність і може використовуватися як перспективна сировина, зокрема для виробництва снеків.

Традиційно вирощування гарбуза в Україні переважало на присадибних господарствах. На теперішній час — це високорентабельний агробізнес, орієнтований як на внутрішній ринок здорового харчування, так і на експорт до країн ЄС. Вирощування органічних гарбузів набуло стрімкого розвитку з 2014 року. Це було пов'язано зі зростанням попиту на органічну продукцію як на внутрішньому, так і на європейському ринку. Особливої популярності набуло вирощування органічного гарбуза для отримання насіння та подальшого виробництва гарбузової олії.

Основні площі вирощування органічних гарбузів зосереджувалися у Херсонській, Одеській, Харківській, Київській, Житомирській та Чернігівській областях. Лідером за площами органічних баштанних культур тривалий час була Херсонська область. Розвиток галузі також стимулював експорт українського гарбузового насіння до Австрії та інших країн Європи, де його використовують для виробництва харчової олії й функціональних продуктів [5]. У зв'язку з розширення асортименту органічної гарбузової продукції та вдосконалення технологій її переробки створює нові можливості для розвитку галузі. Перспективним напрямом є виробництво сушених гарбузових чіпсів, які можуть стати корисною противагою традиційним хрустким снекам.

Аналіз досліджень та публікацій

Гарбуз — це одна з найбільш родючих культур, добре підходить для сівозміни та покращення фітосанітарного стану полів і ґрунтів. Високі органолептичні та технологічні характеристики гарбуза, особливості хімічного складу зумовлюють широке використання даного виду сировини. То ж виробництво органічних гарбузових чіпсів є актуальним в концепції здорового харчування широких верств населення.

Гарбузи є дуже добрими джерелами каротиноїдів, які використовуються як у малих, так і у великих кількостях для промислового використання, такого як виробництво харчових продуктів, добавок,

фармацевтичних, медичних та косметичних продуктів. Однак, каротиноїди, що містяться в гарбузах, легко розкладаються і тому, мають зберігатися належним чином так, щоб збільшити термін придатності та підвищити їхню доступність. Сушіння є одним з найстаріших методів сільськогосподарського та харчового консервування. Це також операційна одиниця в харчовій промисловості, яка може призвести до збільшення терміну придатності, збереження поживних властивостей та зменшення об'єму продуктів, тим самим зменшуючи необхідний простір для зберігання [6].

Високий вміст біологічно активних сполук робить гарбузові плоди важливою культурою для розробки нових функціональних продуктів харчування для покращення продовольчої безпеки, харчування та здоров'я.

Конвективне сушіння гарячим повітрям є найпоширенішим методом промислового сушіння, яке значною мірою залежить від таких факторів: температура, товщина матеріалу, швидкість повітря під час сушіння та відносна вологість. Саме ці фактори можуть мати негативний вплив на структуру продукту, його вологість, колір та загальний вміст каротиноїдів. Дослідження показали, що за підвищених температур сушіння (вище вище 80°C), відбувається потемніння та значна зміна кольору гарбуза, по відношенню до свіжого продукту, що призводить до погіршення споживчих властивостей готового продукту [6].

Проведені дослідження [7] по висушуванню скибочок гарбуза за температури гарячого повітря 55, 60 та 65 °C та товщини скибочок 2, 3 та 4 мм при постійній швидкості повітря 1,5 м/с. Встановлено, що час сушіння зменшувався зі збільшенням температури сушіння, але збільшувався зі збільшенням товщини скибочок гарбуза. У всіх випробуваннях отримані експериментальні криві сушіння показують результати лише для періоду зниження швидкості.

Досліджено [1] конвективне сушіння органічного гарбуза за різних температур: в розширеному діапазоні температур та за більшої кількості значень температури. Встановлено, що за температури 60-70 °C досягається хороший баланс між швидкістю сушіння та збереженням якості. Висушений органічний гарбуз показав хорошу стабільність кольору та структури. За результатами досліджень рекомендовано режим: температура 60-70 °C, швидкість повітря 1,5 м/с та тонка нарізка скибочок для забезпечення рівномірного сушіння.

Проведені дослідження по оцінці впливу різних методів сушіння на кінетику сушіння, структуру продукту, кінетику регідратації та індекси регідратації зневоднених скибочок гарбуза. Скибочки гарбуза зневоднювали п'ятьма різними методами: багатоспалахове сушіння в мікрохвильовій печі, вакуумне сушіння в мікрохвильовій печі, кондуктивне багатоспалахове сушіння, сублімаційне сушіння та сушіння на повітрі [8]. Встановлено, що багаторазове спалахове сушіння та мікрохвильове вакуумне сушіння гарбузів призводять до отримання пористих продуктів за дуже короткий час процесу, щонайменше в дванадцять разів коротший, ніж спостерігається при інших способах. Застосування цих способів дозволяє виробляти сушені та хрусткі гарбузи за дуже короткий час та за доступними цінами.

Вченими досліджено [9] сушіння скибочок гарбуза конвективним, вакуумно-мікрохвильовим, вакуумним та сублімаційним методами. Визначено усадку при висиханні та об'ємну густину, а колір та вміст каротиноїдів у скибочках 12 сортів гарбуза, а також кінетику їх зневоднення конвективним та вакуумно-мікрохвильовим методами. Встановлено, що застосування вакуумно-мікрохвильового методу приблизно в десять разів скоротило час сушіння скибочок гарбуза порівняно з конвективним методом.

Сучасні дослідження підтверджують, що технологія сушіння суттєво впливає на харчову та функціональну цінність гарбузових чіпсів. Найчутливішими компонентами є β -каротин і вітамін С, тоді як фенольні сполуки та антиоксидантна активність можуть частково зберігатися або навіть концентруватися за оптимальних режимів сушіння. Найкращі результати демонструють вакуумне та сублімаційне сушіння, однак конвективне сушіння залишається найбільш економічно доступним для харчової промисловості.

Досліджено вплив різної товщини скибочок та температури конвективного сушіння повітрям на кінетику сушіння та зміни кольору, а також біоактивні сполуки висушених скибочок гарбуза. Встановлено значний вплив параметрів сушіння на збереження біоактивних сполук та антиоксидантну активність висушених скибочок гарбуза. Здебільшого, тонші скибочки (3 мм) висихали швидше та мали вище збереження біоактивних сполук та антиоксидантної активності, ніж товстіші скибочки (5 мм). Гарбузові скибочки, висушені при температурі 60 °C, мали найвищий вміст β -каротину, аскорбінової кислоти та антиоксидантної активності мали скибочки за температури сушіння 60 °C., проте загальний вміст фенолів та флавоноїдів був вищим у гарбузових продуктах, висушених при 70 °C. Результати дослідження свідчать про те, що товщина скибочок 3 мм та температура сушильного повітря 60 °C можуть бути використані для виробництва високоякісних сушених гарбузових продуктів [10].

Отже, гарбузові чіпси можуть бути перспективним функціональним продуктом, особливо при підборі оптимальних параметрів сушіння. Основною проблемою є часткова втрата термолабільних компонентів, однак правильний вибір режимів сушіння дозволяє зберегти значну частину біологічно активних речовин та антиоксидантної активності продукту.

Проведений аналіз наукових джерел, свідчить про необхідність досліджень і подальшого розвитку наукового пояснення та практичного застосування процесу сушіння гарбуза, як основного, при виготовленні снекової продукції з нього, а саме чіпсів.

Виділення невирішених питань

Опрацювання наукових публікацій свідчить, що хімічний склад гарбуза є добре дослідженим, проте закономірності зміни його основних компонентів під час технологічної обробки потребують додаткового

вивчення. Одним із перспективних напрямів переробки цієї овочевої культури є сушіння, яке дозволяє отримувати продукцію тривалого зберігання з високим рівнем збереження поживних і біологічно активних речовин. Водночас результати попередніх досліджень свідчать про наявність низки не вирішених технологічних питань у виробництві овочевих чіпсів, що зумовлює необхідність подальших експериментальних і теоретичних досліджень у цьому напрямі.

Формування цілей статті

Дослідження та наукове обґрунтування процесу сушіння гарбуза були **основною метою роботи** при виробництві гарбузових снєків.

Для реалізації поставленої мети сформульовано такі завдання: на підставі теоретичних та експериментальних досліджень визначити оптимальні режими сушіння гарбуза в процесі виробництва чіпсів; вивчити і здійснити порівняльний аналіз конвективного та конвективно-інфрачервоного способів сушіння гарбуза з метою забезпечення чіпсів високих показників якості та харчової цінності; визначити закономірності впливу кухонної солі на якість продукту та кінетику процесу сушіння.

Викладення основного матеріалу

Матеріали і методи. Для проведення лабораторних досліджень використовували органічні гарбузи, кухонну сіль та питну воду.

У роботі застосовували фізичні, фізико-хімічні та органолептичні методи дослідження. Експериментальну частину виконували в лабораторних умовах Національного університету харчових технологій (НУХТ), а дериватографічні дослідження проводили на базі Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Кінетику процесу сушіння гарбуза досліджували за допомогою лабораторної сушильної установки, яка була розроблена вченими І. Дубковецьким та Т. Бурлакою (НУХТ). Установка призначена для висушування овочевої сировини та забезпечує можливість здійснення сушіння інфрачервоним і конвективним способами як окремо, так і в комбінованому режимі.

У ході експериментальних досліджень як об'єкт сушіння використовували гарбуз, попередньо підготовлений у вигляді скибочок завтовшки 3 мм. Підготовка сировини включала миття, інспектування, видалення непридатних до споживання частин та подрібнення до необхідних розмірів. Отримані зразки піддавали сушінню різними способами за температури сушильного агента в межах 60–70 °С.

Для підведення теплоти застосовували інфрачервоне випромінювання, яке генерувалося трубчастими нагрівальними елементами темного типу з діапазоном довжин хвиль 2,0...4,0 мкм. Розташування випромінювачів над і під продуктом забезпечувало двосторонній вплив на зразки. Інтенсивність опромінення становила 8 кВт/м², а відстань між випромінювачами та поверхнею матеріалу підтримувалася на рівні 15 см.

Паралельно з інфрачервоним нагріванням здійснювали конвективне підведення теплоти за допомогою зовнішнього електронагрівача потужністю 1 кВт. Рух повітряного потоку в сушильній камері забезпечувався зі швидкістю 6 м/с. Пластики гарбуза рівномірно розміщували на сітчастому піддоні одним шаром, після чого його встановлювали в робочу камеру сушильної установки.

Сушіння тривало до досягнення зразками стану рівноважної вологості. Контроль перебігу процесу здійснювали шляхом періодичного зважування матеріалу з інтервалом 5 хвилин. За результатами вимірювань будували криві сушіння і криві швидкості сушіння.

Дериватографічний аналіз свіжого гарбуза та чіпсів, виготовлених на його основі, проводили з використанням дериватографа Q-1500D. Застосування методу термічного аналізу дало змогу оцінити особливості перебігу фізико-хімічних перетворень досліджуваних зразків під впливом температури.

Результати досліджень. За результатами проведених нами попередніх експериментальних досліджень встановлено, що для формування належних органолептичних властивостей гарбузових чіпсів доцільним є використання сольового розчину концентрацією 1 %. Оброблення сировини здійснювали методом розпилення, який, на відміну від гідротермічної обробки, забезпечує менші втрати поживних речовин та сприяє кращому збереженню харчової цінності продукту.

З метою обґрунтування вибору найбільш ефективного способу сушіння та встановлення раціональних технологічних параметрів процесу було проведено дослідження кінетики видалення вологи під час конвективного, інфрачервоного та комбінованого сушіння гарбуза, що стало підґрунтям для визначення оптимальних режимів виробництва гарбузових чіпсів.

За результатами проведених наукових досліджень встановлено, що застосування інфрачервоного способу сушіння призводить до помітного погіршення якісних показників гарбуза, які не відповідають встановленим вимогам. У зв'язку з цим у подальших експериментах було прийнято рішення зосередити увагу на дослідженні конвективного та комбінованого способів сушіння.

На основі математичного моделювання визначено оптимальні параметри процесу сушіння гарбуза: температура сушіння — 62 °С та товщина шару продукту — 3 мм.

Подальший етап досліджень передбачав проведення сушіння гарбуза за встановленими оптимальними режимами. При цьому масова частка вологи становила: у свіжому гарбузі — 90,0±1 %, у зразках, оброблених сольовим розчином, — 92,0±1 %, у готових чіпсах — 7,0±1 %.

З метою покращення органолептичних характеристик органічних гарбузових чіпсів досліджено вплив попередньої обробки сировини сольовим розчином на кінетику процесу сушіння.

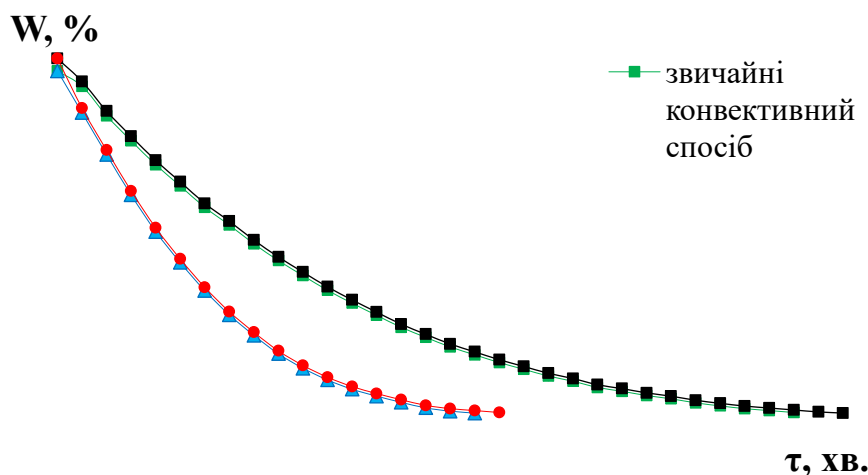


Рис.1. Криві швидкості сушіння гарбуза при конвективному та комбінованому способах сушіння

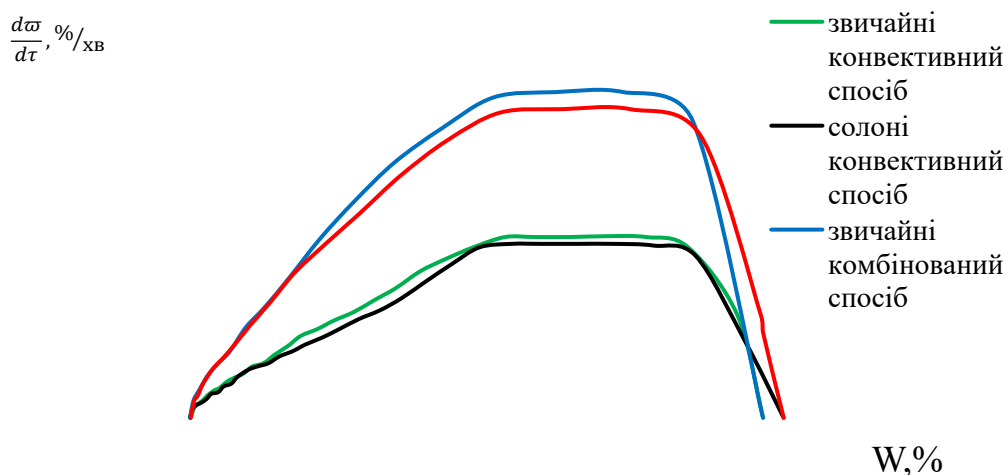


Рис. 2. Криві швидкості сушіння гарбуза при конвективному та комбінованому способах сушіння

Для аналізу процесу сушіння необхідним є встановлення характеру зміни вологості матеріалу, що піддається термічній обробці. З цією метою за результатами експериментальних досліджень побудовано криві сушіння (рис. 1) та криві швидкості сушіння (рис. 2) для свіжого гарбуза без попередньої оброблення та після оброблення сольовим розчином концентрацією 1 %, які за своєю формою відповідають типовим кривим сушіння капілярно-пористих колоїдних матеріалів. Отримані залежності дозволяють охарактеризувати динаміку зневоднення продукту в процесі його оброблення.

Аналіз експериментальних даних свідчить, що в процесі сушіння досліджуваних зразків можна виділити три характерні періоди: прогрівання матеріалу, період постійної швидкості та період спадаючої швидкості сушіння. На стадії прогрівання спостерігається інтенсивне нагрівання продукту та конденсація пари на його поверхні. У початковий період нагрівання відбувається зростання інтенсивності видалення води, зокрема за рахунок випаровування з поверхневих шарів і крупних міжклітинних просторів, що відповідає процесам зовнішньої дифузії. Тривалість даної стадії при конвективному способі сушіння становить 10 хв, тоді як при комбінованому способі — 5 хв.

На наступній стадії процесу сушіння швидкість видалення води досягає відносно сталого значення, що зумовлено внутрішньою дифузією води та вирівнюванням її концентрації шляхом міграції води з внутрішніх шарів матеріалу до поверхні. Одночасно спостерігається явище термодифузії, яке проявляється у зворотному перенесенні води від більш нагрітих поверхневих зон до менш нагрітих внутрішніх ділянок. Зазначені процеси відбуваються інтенсивно, що зумовлює постійну швидкість сушіння. У цьому періоді процесу сушіння вода видаляється рівномірно, а крива швидкості набуває прямолінійного вигляду. На даній стадії відбувається видалення вільної механічно-зв'язаної води, яка міститься у капілярах гарбуза. Подібний характер кривих сушіння є типовим для всіх досліджуваних зразків, що підтверджується експериментальними результатами.

Порівняльний аналіз кривих швидкості сушіння (рис. 2) показав, що зразки відрізняються як швидкістю видалення води у другому періоді, так і загальною кількістю видаленої вільної води. Встановлено, що максимальна швидкість сушіння для гарбузових чіпсів, отриманих без попереднього оброблення сольовим розчином (конвективний спосіб), становить 1,1 %/хв, для солоних зразків (конвективний спосіб) — 1,0 %/хв. За комбінованого способу сушіння відповідні значення становлять 1,9 %/хв для чіпсів звичайних та 1,8 %/хв для

солоних. Таким чином, застосування комбінованого способу забезпечує підвищення максимальної швидкості сушіння у 1,7–1,8 раза порівняно з конвективним способом у другому періоді процесу сушіння.

У момент досягнення критичної вологості відбувається зміна механізму перенесення вологи в матеріалі, що супроводжується вирівнюванням її розподілу по всьому об'єму зразка. Відповідні значення масової частки вологи у цій точці становлять: для чіпсів звичайних, отриманих конвективним способом, — 52,5 %; для чіпсів солоних (конвективний спосіб) — 47,9 %; для чіпсів звичайних (комбінований спосіб) — 50,9 %; для чіпсів солоних (комбінований спосіб) — 51,8 %.

Подальше зниження вологості супроводжується зменшенням швидкості процесу сушіння, що відповідає переходу до періоду спадаючої швидкості. На цій стадії припиняється інтенсивне видалення вільної вологи та починається видалення фізико-хімічно зв'язаної вологи, для якої характерна підвищена енергія утримання в структурі матеріалу, що ускладнює її випаровування.

Додатково слід зазначити, що під час сушіння внаслідок явища усадки на поверхні матеріалу може відбуватися часткове перекриття капілярних каналів, через які відбувається вихід вологи. Це сприяє прискореному переходу до періоду спадаючої швидкості сушіння.

У подальшому крива швидкості сушіння наближається до рівноважного значення вологовмісту, за якого процес сушіння практично припиняється.

За певних умов продукт здатний повторно поглинати вологу з навколишнього середовища, що зумовлено різницею парціального тиску водяної пари між матеріалом і навколишнім повітрям. Міграція вологи припиняється при досягненні стану рівноважної вологості продукту. Для більшості харчових продуктів цей показник визначається не лише температурними умовами, але й відносною вологістю повітря, що необхідно враховувати під час розроблення режимів зберігання та пакування готової продукції.

Аналіз особливостей досліджуваних способів сушіння свідчить про те, що за комбінованого методу сушіння гарбузова сировина характеризується вищою інтенсивністю видалення вологи порівняно з конвективним сушінням. У ході досліджень встановлено, що тривалість процесу сушіння для виробництва чіпсів звичайних за конвективного способу становила 150 хв, чіпсів солоних — 160 хв. Водночас при застосуванні комбінованого способу сушіння тривалість процесу скорочувалася до 85 хв для звичайних чіпсів і до 90 хв для солоних.

Отримані результати засвідчили високу ефективність конвективно-інфрачервоного сушіння, за якого видалення вологи відбувається значно швидше, ніж при конвективному способі. Це пояснюється одночасним впливом інфрачервоного випромінювання та інтенсивного повітряного потоку на продукт, що забезпечує рівномірне випаровування вологи з усієї поверхні сировини. Завдяки цьому тривалість сушіння зменшується приблизно у 1,8 раз порівняно з конвективним методом. Скорочення тривалості технологічного процесу сприяє зниженню енергетичних витрат, а також кращому збереженню біологічно-активних сполук, що позитивно позначається на харчовій цінності органічних гарбузових чіпсів.

Відмінності у тривалості процесу сушіння також обумовлені попередньою обробкою сировини сольовим розчином. Результати експериментальних досліджень показали, що гарбуз, оброблений розчином кухонної солі, потребує більшого часу сушіння: при комбінованому способі сушіння тривалість процесу збільшується на 5 хв, а при конвективному — на 10 хв порівняно зі свіжою сировиною. Зниження швидкості видалення вільної вологи пояснюється наявністю іонів Na^+ та Cl^- , які внаслідок дисоціації у водному середовищі сприяють утриманню вологи в структурі продукту.

Дослідження змін форм зв'язку вологи в процесі сушіння гарбуза здійснювали методом дериватографічного аналізу. Дериватограми свіжого гарбуза та органічних гарбузових чіпсів, отриманих за допомогою конвективного та комбінованого способів сушіння, наведено на рис. 3.

Результати обробки та аналізу експериментальних даних наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Аналіз змін дериватографічних показників гарбуза внаслідок сушіння

Показник		Назва зразка		
		Гарбуз	Гарбузові чіпси (конвективний спосіб)	Гарбузові чіпси (комбінований спосіб)
Вільна волога	% до маси вологи	62,2	14,1	20,6
	% до маси наважки	56,0	1,0	1,4
Зв'язана волога	% до маси вологи	37,8	85,9	79,4
	% до маси наважки	34,0	6,1	5,4
Масова частка вологи, %		90,0	7,1	6,8

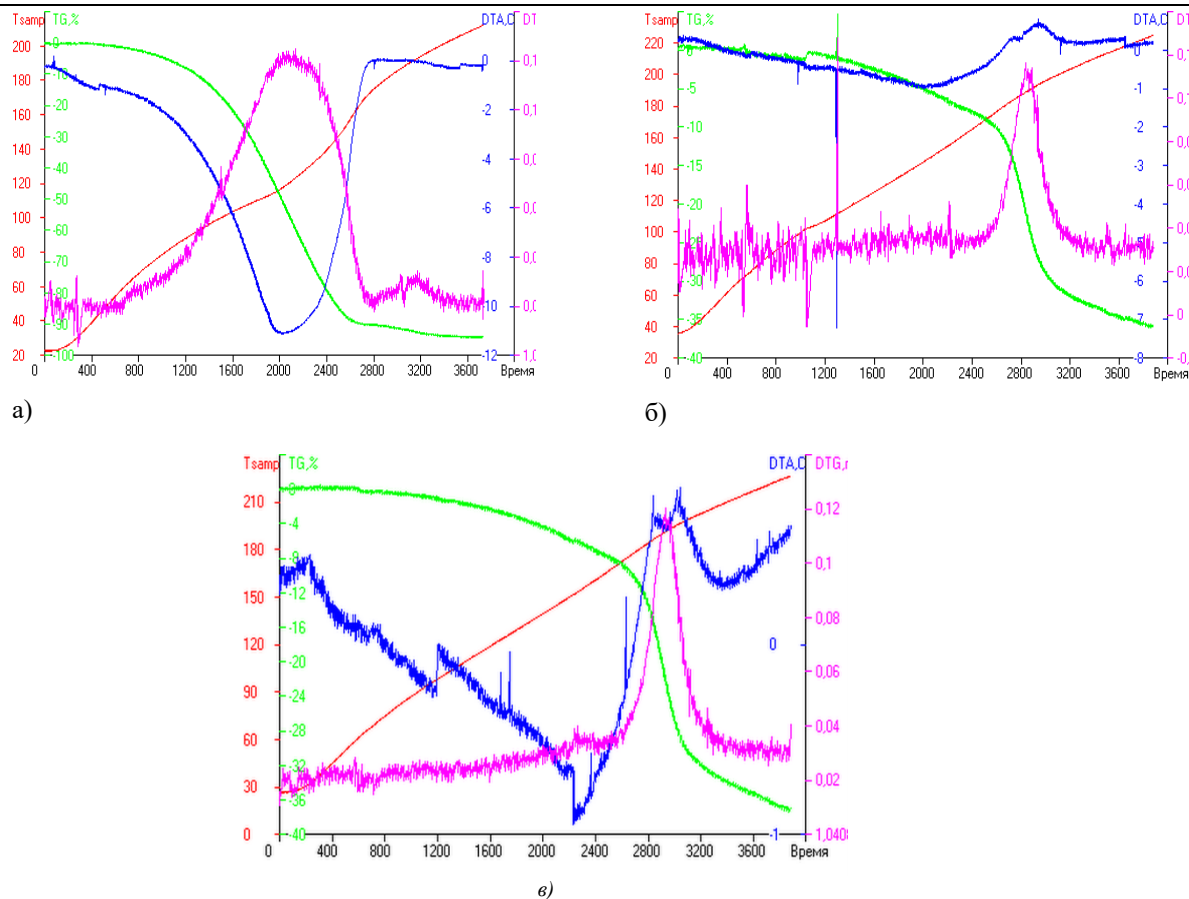


Рис. 3. Дериватограми свіжого гарбуза (а), а також органічних гарбузових чіпсів, виготовлених із застосуванням конвективного (б) та комбінованого (в) способів сушіння

Аналіз одержаних результатів свідчить про те, що в процесі сушіння відбувається перерозподіл форм зв'язування води зі збільшенням частки міцно зв'язаної води відповідно на 41,6 % та 48,1 %. Водночас встановлено, що температурні діапазони видалення як вільної, так і зв'язаної води для свіжого гарбуза та готових чіпсів є близькими за значеннями, що вказує на подібний характер перебігу процесів зневоднення в досліджуваних зразках.

Встановлено, що вміст вільної води в гарбузових чіпсах, отриманих комбінованим способом сушіння, є на 6,5 % вищим порівняно зі зразками, висушеними конвективним методом. Така особливість може бути пов'язана з попередньою обробкою сировини сольовим розчином та її впливом на складові гарбуза. Дані дериватографічного аналізу узгоджуються з результатами, отриманими під час дослідження кінетики сушіння, що підтверджує закономірності зміни швидкості видалення води з сировини.

Одним із найважливіших критеріїв оцінювання ефективності способів сушіння є якість готової продукції. Раціональними є такі технологічні режими, які не лише забезпечують економічну ефективність виробництва, а й сприяють отриманню продукції з високими споживчими та технологічними характеристиками. Результатами досліджень доведено, що при використанні комбінованого способу сушіння нагрівання продукту відбувається більш рівномірно та інтенсивніше. За обраних технологічних параметрів сушіння органічні гарбузові чіпси зберігають характерну форму, об'єм і мікропористу структуру, при цьому ознаки розтріскування готового продукту не спостерігаються.

За результатами проведених експериментальних досліджень встановлено особливості зміни фізико-хімічних властивостей гарбуза та гарбузових чіпсів у широкому температурному інтервалі, що створює передумови для оптимізації та ефективного регулювання технологічних процесів їх виробництва.

Висновки з даного дослідження

Провівши аналіз інтеграції теоретичних та експериментальних даних рекомендовано в технології органічних гарбузових чіпсів використовувати комбінований (конвективно-інфрачервоний) метод зневоднення матеріалу, який дозволяє забезпечити високі показники якості продукту.

Експериментально встановлено, що за умови використання комбінованого способу сушіння гарбузових скибочок зменшуються енергозатрати, що позитивно впливає на економічні показники роботи підприємства. При цьому скорочується тривалість сушіння у 1,8 рази порівняно з конвективним методом, що дає змогу зменшити втрати корисних поживних речовин і краще зберегти харчову цінність продукту, що має позитивний акцент при виробництві органічної продукції.

За результатами проведених досліджень визначено оптимальні параметри процесу сушіння гарбузових чіпсів, які найдуть застосування як в харчоконцентратній промисловості, так і в інших харчових галузях.

Література

1. Dangour AD, Lock K, Hayter A, Aikenhead A, Allen E, Uauy R. Nutrition-related health effects of organic foods: a systematic review. *Am J Clin Nutr.* 2010 Jul;92(1):203-10. doi: 10.3945/ajcn.2010.29269.
2. Vigar, V., Myers, S., Oliver, C., Arellano, J., Robinson, S., Leifert, C. A. Systematic Review of Organic Versus Conventional Food Consumption: is There Measurable Benefit on Human Health? *Nutrients* 2020, 12(1). doi.org/10.3390/nu12010007.
3. Nutrient Value of Some Common Foods / Minister of Health Canada // Government of Canada. — 2008. — 68 p.
4. I CAN EXPORT ORGANIC. Огляд ринку та регулювання органічних товарів у Канаді : посібник // CUTIS . — 143 p.
5. Органічні гарбузи знайшли ринок збуту в Європі / AgroTimes. — Режим доступу: <https://agrotimes.ua/ovochi-sad/organichni-garbuzy-znajshly-rynok-zbutu-v-yevropi>. (дата звернення: 15.05.2026).
6. Onwude, D. I., Hashim, N., Janius, R., Nawi, N., & Ebdan, K. (2016). COLOR CHANGE KINETICS AND TOTAL CAROTENOID CONTENT OF PUMPKIN AS AFFECTED BY DRYING TEMPERATURE. *Italian Journal of Food Science*, 29(1). <https://doi.org/10.14674/1120-1770/ijfs.v398>
7. K. Limpaboon, "Effects of Temperature and Slice Thickness on Drying Kinetics of Pumpkin Slices," *Walailak Journal of Science and Technology (WJST)*, Vol. 8, No. 2, 2011, pp. 159-166.
8. Ricardo L. Monteiro, Jade V. Link, Giustino Tribuzi, Bruno A.M. Carciofi, Joao B. Laurindo. Microwave vacuum drying and multi-flash drying of pumpkin slices. *Journal of Food Engineering* 232 (2018) 1-10. doi:10.1016/j.jfoodeng.2018.03.015.
9. Agnieszka Nawirska, Adam Figiel, Alicja Z. Kucharska, Anna Sokół-Łętowska, Anita Biesiada. Drying kinetics and quality parameters of pumpkin slices dehydrated using different methods. *Journal of Food Engineering* Volume 94, Issue 1 (2009) 14-20 doi:10.1016/j.jfoodeng.2009.02.025.
10. Solomon Kofi Chikpah, Joseph Kudadam Korese, Barbara Sturm, Oliver Hensel Colour change kinetics of pumpkin (*Cucurbita moschata*) slices during convective air drying and bioactive compounds of the dried products. *Journal of Agriculture and Food Research*. Volume 10, (2022) 100409.

Органічні гарбузи знайшли ринок збуту в Європі

References

1. Dangour AD, Lock K, Hayter A, Aikenhead A, Allen E, Uauy R. Nutrition-related health effects of organic foods: a systematic review. *Am J Clin Nutr.* 2010 Jul;92(1):203-10. doi: 10.3945/ajcn.2010.29269.
2. Vigar, V., Myers, S., Oliver, C., Arellano, J., Robinson, S., Leifert, C. A. Systematic Review of Organic Versus Conventional Food Consumption: is There Measurable Benefit on Human Health? *Nutrients* 2020, 12(1). doi.org/10.3390/nu12010007.
3. Nutrient Value of Some Common Foods / Minister of Health Canada // Government of Canada. — 2008. — 68 p.
4. I CAN EXPORT ORGANIC. Огляд ринку та регулювання органічних товарів у Канаді: посібник // CUTIS . — 143 p.
5. Органічні гарбузи знайшли ринок збуту в Європі. AgroTimes. — Режим доступу: <https://agrotimes.ua/ovochi-sad/organichni-garbuzy-znajshly-rynok-zbutu-v-yevropi>. (дата звернення: 15.05.2026).
6. Onwude, D. I., Hashim, N., Janius, R., Nawi, N., & Ebdan, K. (2016). COLOR CHANGE KINETICS AND TOTAL CAROTENOID CONTENT OF PUMPKIN AS AFFECTED BY DRYING TEMPERATURE. *Italian Journal of Food Science*, 29(1). <https://doi.org/10.14674/1120-1770/ijfs.v398>
7. K. Limpaboon, "Effects of Temperature and Slice Thickness on Drying Kinetics of Pumpkin Slices," *Walailak Journal of Science and Technology (WJST)*, Vol. 8, No. 2, 2011, pp. 159-166.
8. Ricardo L. Monteiro, Jade V. Link, Giustino Tribuzi, Bruno A.M. Carciofi, Joao B. Laurindo. Microwave vacuum drying and multi-flash drying of pumpkin slices. *Journal of Food Engineering* 232 (2018) 1-10. doi:10.1016/j.jfoodeng.2018.03.015.
9. Agnieszka Nawirska, Adam Figiel, Alicja Z. Kucharska, Anna Sokół-Łętowska, Anita Biesiada. Drying kinetics and quality parameters of pumpkin slices dehydrated using different methods. *Journal of Food Engineering* Volume 94, Issue 1 (2009) 14-20 doi:10.1016/j.jfoodeng.2009.02.025.
10. Solomon Kofi Chikpah, Joseph Kudadam Korese, Barbara Sturm, Oliver Hensel Colour change kinetics of pumpkin (*Cucurbita moschata*) slices during convective air drying and bioactive compounds of the dried products. *Journal of Agriculture and Food Research*. Volume 10, (2022) 100409.