

СПОСОБИ СУШІННЯ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ: ПЕРЕВАГИ, НЕДОЛІКИ ТА ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ

Вольвач Тетяна Сергіївна

асистент

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0002-8890-6901

tashavolvach@ukr.net

Савойський Олександр Юрійович

старший викладач

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0002-6459-4931

o.savoiskyi@gmail.com

Сіренко Юлія Володимирівна

доктор філософії, доцент

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0003-1818-3653

sirenko.ula2018@gmail.com

Овочі та фрукти є незамінним джерелом корисних вітамінів та мінералів, необхідних для нормального функціонування людського організму. Через високий вміст вологи дані продукти дуже чутливі до температури та швидко псуються, що вимагає їх переробки для довготривалого зберігання.

Після збирання плодів близько 70 % врожаю може бути втрачено через короткий час придатності свіжої сировини, що суттєво впливає на економічні показники. Основний фактор, що призводить до таких суттєвих втрат – це надмірна вологість, яка є збудником зростання шкідливої мікрофлори та швидкого псування продукції. Тому зберігання сировини з високим вмістом вологи ускладнюється через високу температуру в деяких країнах, неналежні холодильники-приміщення та склади для зберігання. Вміст вологи в зібраних свіжих продуктах може досягати 80–90%. Без належної переробки вони піддаються плісняві і гниють, що псує їхню якість та робить непридатними для споживання. Крім того, тривалість збирання врожаю обмежені у термінах і можуть бути дуже короткими. Щоб забезпечити якісне зберігання продуктів харчування, необхідно проводити переробку зібраної сировини в короткі терміни. Одним із найпоширеніших високоефективних способів такої переробки є сушіння.

Процес сушіння є одним із прадавніх способів заготівлі врожаю, що використовується в сільському господарстві та в харчовій промисловості. Цей метод якісної обробки забезпечує тривалий термін придатності продукту, зменшення ваги та об'ємів матеріалу, знешкоджує від мікроорганізмів. Сушіння є найбільш ефективним методом обробки при відсутності відповідних умов для зберігання продукції в не переробленому стані. Водночас, при недотриманні технології сушіння сировини може скорочуватися термін придатності та якість готової продукції. Крім забезпечення встановленого терміну зберігання, в процесі сушіння повинні зберігатися всі якісні показники та поживні речовини, що містяться в сирому продукті.

В результаті проведеного теоретичного аналізу способів та методів сушіння, зокрема, природного, конвективного, в киплячому шарі, розпиленням, з використанням енергії високих та надвисоких частот, осмосу, екструзії, сублімацією, були виявлені переваги та недоліки кожного методу та розглянуто сучасні тенденції щодо впровадження високоефективних способів сушіння сировини. Нові технології та інновації в галузі сушіння продуктів харчування спрямовані на покращення ефективності, збільшення продуктивності сушильних апаратів шляхом зменшення тривалості обробки, а також збереження поживних речовин та підвищення якості готового продукту.

Ключові слова: плодовоовочева сировина, зберігання сировини, переваги та недоліки методів сушіння, енергоефективність зневоднення, час сушіння, природне сушіння, конвективне сушіння, сублімація, мікрохвильове сушіння, сушіння розпиленням, комбіноване сушіння.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.2.3>

Вступ. У всіх розвинених країнах після збирання врожаю може бути втрачена велика кількість зернового матеріалу до 30% та фруктів до 70%, що суттєво впливає на економічні показники. Основний чинник який призводить до таких суттєвих втрат – це зайва вологість, яка є збудником росту шкідливої мікрофлори та розвитку різних хвороб. Тому зберігання із високим вмістом вологи ускладнюється через високу температуру, неналежні

холодильники-приміщення та склади для зберігання. Вміст вологи у тільки зібраних свіжих продуктах дуже значний. Без термічної обробки вони піддаються плісняві та гниють, що значно погіршує їх якість. Окрім того, строки збирання врожаю обмежені у термінах і можуть бути дуже короткими. Щоб забезпечити якісне зберігання продуктів харчування необхідно проводити високоефективне сушіння в короткі терміни.

Процес сушіння є одним з прадавніх способів заготівлі врожаю, що використовується в сільському господарстві та переробній галузі. Цей метод якісної обробки забезпечує тривалий термін придатності продукту, зменшення ваги та об'єму та знешкоджує від мікроорганізмів, що є найефективнішим методом переробки, коли немає відповідних умов для зберігання. При неправильному сушінні сировини порушується термін придатності та якість готового продукту. Окрім забезпечення встановленого терміну зберігання, технологія сушіння повинна забезпечувати всі якісні показники та поживні речовини у готовому виробі.

Мета дослідження. Провести порівняльний аналіз існуючих методів зневоднення рослинної сировини, виявити переваги та недоліки під час сушіння продуктів та ознайомитися з тенденціями розвитку застосування сучасних методів сушіння в переробній галузі.

Матеріали і методи досліджень. Під час теоретичного аналізу застосовувалися методи системного підходу до досліджень методів сушіння; методи систематизації з визначенням переваг та недоліків технологій зневоднення, зв'язку та взаємовпливу між ними; методи оцінки, перевірки, статистичного послідовного аналізу, абстрагування.

Результати. Сушіння є одним із традиційних, найстаріших і прийнятних у всьому світі методів консервування харчових продуктів. З усіх методів консервування продуктів сушіння є найбільш поширеним. Це засновано на принципі, згідно з яким рівень вологи знижується до такої міри, коли шкідливі мікроорганізми не можуть розвиватися. Окрім збереження, меншої маси та об'єму висушених продуктів, а також їх подовженого терміну придатності знижуються вартість і складність дизайну упаковки, транспортування, складування та передачі (Chhabra, Aroga, 2024).

У сільськогосподарській та харчовій промисловості використовуються численні методи вимірювання вологи, щоб забезпечити досягнення необхідного вмісту вологи. Проте підприємствам у країнах, що розвиваються, особливо невеликих, таким як кооперативи чи малі ферми, часто бракує регуляторних, технічних і фінансових засобів для створення систем контролю якості (Zambrano, Dutta, 2019).

Сушіння продуктів – це процес видалення вологи з їжі для подовження строку зберігання і збереження поживних речовин. Сушіння може бути виконане різними способами, зокрема, природнім шляхом, парове сушіння, конвекційне та мікрохвильове сушіння. Сушіння продуктів харчування допомагає зберегти поживні речовини, аромати та смак продуктів, знизити об'єм продукту для зберігання та транспортування та запобігти розмноженню бактерій через видалення вологи, що сприяє зберіганню свіжості продукту.

У випадку природного сушіння використовується сонячна енергія для висушування сировини. Сировина розміщується на планках або поверхнях, що нагріваються сонячними променями. Цей метод ефективний у теплий і сухий день та дозволяє зберегти більше вітамінів та мінералів у продуктах.

При паровому сушінні продукти розміщуються в спеціальних камерах, де вони оброблюються паром для висушування. Даний метод швидший і дозволяє зберегти більше поживних речовин, оскільки продукти не втрачають вагу під час сушіння.

Конвекційне сушіння: у цьому методі використовується гаряче повітря, яке циркулює навколо продуктів і виводить вологу. Цей метод ефективний для великих обсягів сушіння і дозволяє швидко висушити продукти різного типу.

Мікрохвильове сушіння: цей метод ґрунтується на використанні мікрохвиль для сушіння продуктів. Він швидкий і ефективний, дозволяючи зберегти більше поживних речовин у продуктах.

Вакуумне сушіння – це процес, під час якого матеріал сушиться за умови вакууму. У цьому процесі волога випаровується з матеріалу при низькому або нульовому тиску, що дозволяє швидко і ефективно видалити вологу без шкоди для матеріалу. Цей метод може бути використаний для сушіння різноманітних матеріалів, включаючи харчові продукти, фармацевтичні препарати, дерево, текстиль тощо. Вакуумне сушіння дозволяє зберігати властивості матеріалу, зменшує час сушіння, підвищує якість.

Принцип роботи систем вакуумної мікрохвильової сушки (ВМС) полягає в тому, що хвилі, які випромінює система, поглинаються молекулами води, присутніми в харчовій матриці, які генерують тепло в матриці під час руху молекул води. Умови вакууму забезпечують ефективний процес сушіння, оскільки водяна пара концентрується на поверхні, а низький тиск спричиняє нижчу температуру кипіння води, що допомагає запобігти окисленню та зберігати такі якості харчових продуктів, як колір, текстура та смак. Система ВМС скорочує час сушіння на 70-90% порівняно з системами сушіння гарячим повітрям і сублімаційним сушінням. Останніми роками застосування ВМС для харчових продуктів, які містять термочутливі компоненти, стає все більш популярним; його застосовують у фруктах, овочах, м'ясі та листя чаю. Крім того, за останнє десятиліття у відповідь на різні потреби були розроблені різні системи ВМС з різними конфігураціями. Деякі автори побудували системи вакуумного сушіння з використанням домашніх мікрохвиль, а інші сконструювали пілотне обладнання (González-Cavieles, Pérez-Won, 2021).

Перевагами цього методу є: збереження поживних речовин – вакуумне сушіння дозволяє зберегти більше поживних речовин порівняно з іншими методами сушіння, оскільки воно здійснюється при низькій температурі, що допомагає уникнути руйнування поживних речовин; мінімальні втрати – під час вакуумного сушіння водяна пара випаровується безпосередньо з продукту, що дозволяє уникнути утворення капельного осаду та запобігти появі плям чи нерівномірностей; збереження аромату та смаку – цей метод дозволяє зберегти аромат і смак продуктів, оскільки він не вимагає високих температур, які можуть вплинути на якість.

До недоліків можна віднести: енерго- та матеріалоемність – вакуумне сушіння може бути досить витратним

у порівнянні з іншими методами сушіння через високі витрати та складність утримання обладнання; тривалість процесу – час вакуумного сушіння може бути довшим у порівнянні з іншими методами через необхідність випаровування вологи при низькому тиску; необхідність спеціалізованого обладнання – для вакуумного сушіння потрібно спеціалізоване обладнання, що може бути дорогим у придбанні та обслуговуванні.

Сублімаційне сушіння – це процес, за якого фізичний стан речовини переходить з твердого в плавкий зразу без фази рідкої під час обігрівання, при цьому водяна пара виходить безпосередньо з твердого стану в результаті нагрівання без переходу в рідкий стан. Цей процес може бути використаний для сушіння різних матеріалів, таких як харчові продукти, фармацевтичні препарати, хімічні речовини та інші. Сублімаційне сушіння дозволяє ефективно видаляти вологу з матеріалу без ризику пошкодження структури чи якості продукту.

В даний час найбільш широко застосовуваними методами сушіння є сушіння на повітрі та сушіння сублімацією. Припускають, що понад 85% промислових сушарок є конвективними, гарячим повітрям або газами згорання, які використовуються як теплоносії. Використання підвищених температур сушіння на повітрі означає погіршення якості плодів. Дійсно, обробка фруктів при підвищених температурах несе ризик погіршення зовнішнього вигляду, а поживні речовини, такі як вітаміни або каротиноїди, можуть бути деградовані, і, як наслідок, фрукти втрачуть свої поживні властивості та користь для здоров'я (Djekic, Tomić, 2018).

Перевагами цього методу є: відсутність рідини – сублімаційне сушіння видаляє вологу без утворення рідини, що дозволяє уникнути ризику пошкодження структури продукту або втрати поживних речовин; швидкість – цей процес може бути досить швидким у порівнянні з традиційними методами сушіння, що сприяє збереженню якості і поживності продуктів; економія енергії – сублімаційне сушіння може бути енергоефективним методом сушіння, оскільки вміст води видаляється без термічного переходу у рідкий стан, що дозволяє заощадити енергію.

До недоліків можна віднести: обмеженість – сублімаційне сушіння може бути обмеженим у застосуванні для продуктів з високим вмістом жиру або цукру, оскільки ці речовини можуть не підлягати сублімації; витрати – в окремих випадках процес сублімації може бути більш дорогим у порівнянні з іншими методами сушіння через спеціалізоване обладнання та високу витрату енергії. вимоги до умов – сублімаційне сушіння може вимагати певних умов температури та тиску для оптимального результату, що може ускладнити процес сушіння у деяких умовах.

Сушіння в мікрохвильовій печі – це один зі способів швидкого і ефективного видалення вологи з продуктів або матеріалів за допомогою мікрохвильового випромінювання. Під час сушіння в мікрохвильовій печі волога в продукті або матеріалі поглинає енергію мікрохвиль та випаровується, що дозволяє швидко видалити вологу і забезпечити швидше завершення процесу сушіння.

Мікрохвильове нагрівання має значні переваги перед звичайним нагріванням і може бути застосоване

в широкому діапазоні харчових продуктів. Сушіння в мікрохвильовій печі виявилася ефективною завдяки досягненню більшої глибини проникнення в харчові продукти в поєднанні з об'ємним нагріванням, оскільки це призводить до швидкої швидкості нагрівання та скорочення часу обробки. Вона вважається хорошим джерелом видалення вологи, оскільки продукти висихають зсередини назовні, що скорочує час сушіння та, у свою чергу, зберігає основні поживні речовини (Habibat Animashaun, 2024).

Для сушіння, яке використовується у виробничій промисловості, використовується декілька робочих пристроїв, таких як мікрохвильова сушарка, сушарка з киплячим шаром, сушарка з тепловим насосом. У дослідженні наведені різні нові методи сушіння, такі як сушіння сублімацією, ультразвукова кавітація та заміщення диспергатора. Однак ці нові методи сушіння мають складні процедури та дороге обладнання. Виходячи з цих процедур використання та обладнання, сушіння в мікрохвильовій печі та печі є передовими альтернативними методами ефективного сушіння речовин і перспективними методами попередньої обробки для масштабного виробництва в промисловості.

Сушіння за допомогою мікрохвиль залежить від умов, включаючи час, температуру, рівень мікрохвильової потужності та швидкість повітря, пов'язані з різними витратами енергії та впливом на фітохімічні та антиоксидантні властивості зразка матеріалу. Крім того, сушіння за допомогою мікрохвиль має унікальний механізм, оскільки сушильне середовище передає тепло безпосередньо до сировини, щоб швидко підвищити внутрішню температуру матеріалу. Цей метод використовує мікрохвилі для проникнення в матеріал, доки не буде видалено вологу, і об'ємно нагріває матеріал, таким чином сприяючи вищій швидкості дифузії. У процесі сушіння за допомогою мікрохвиль є ефективним методом для запобігання утворенню вихлопних газів. Метод сушіння в мікрохвильовій печі є екологічно чистим. Протягом останніх двох десятиліть спостерігався підвищений інтерес до сушіння за допомогою мікрохвиль, щоб сприяти вищій швидкості сушіння, скороченню часу сушіння, нижчому споживанню енергії, кращій якості висушених продуктів і екологічно безпечному методу (Septya Kusuma, H., 2023).

Перевагами цього методу є: швидкість – мікрохвильове сушіння може бути набагато швидшим в порівнянні з іншими методами сушіння, оскільки мікрохвилі прискорюють процес випаровування вологи; енергоефективність – мікрохвильові печі можуть бути більш енергоефективними у порівнянні з іншими типами сушарок, оскільки вони швидше завершують процес сушіння; збереження поживності – через швидкість та низьку температуру процесу, мікрохвильове сушіння може допомогти зберегти поживні речовини у продуктах.

До недоліків можна віднести: нерівномірність – у деяких випадках, сушіння в мікрохвильовій печі може призвести до нерівномірності сушіння продуктів, що може спричинити пересихання чи перегрівання, обмеженість об'єму – мікрохвильові печі мають обмежений обсяг

сушарки, що може обмежувати кількість продуктів, які можна сушити одночасно; вартість – деякі моделі мікрохвильових печей для сушіння можуть бути дорожчими у порівнянні з іншими типами сушарок.

Контактне сушіння – це процес видалення вологи з матеріалів шляхом фізичного контакту з нагрівальною поверхнею чи повітрям. Цей метод сушіння може бути застосований у різних галузях, включаючи харчову промисловість, фармацевцію, сільське господарство та інші сектори.

Сушіння гарячим повітрям є простим, недорогим і ефективним методом сушіння, який зазвичай використовується для зневоднення та консервування фруктів і овочів. Під час сушіння гарячим повітрям відбуваються різні хімічні реакції, карамелізація, окислення ліпідів і термічна деградація. Продукти, що утворюються в цих реакціях, призводять до зміни смаку, біологічної активності, фітохімічного складу і кольору харчових продуктів (Huang, 2024).

Переваги контактного сушіння є: ефективність – контактне сушіння може бути досить ефективним у видаленні вологи з матеріалів шляхом прямого контакту з нагрівальною поверхнею; швидкість – цей метод може прискорити процес сушіння завдяки прямому тепловому впливу на матеріал; простота – контактне сушіння може бути досить простим у реалізації та не вимагає складного обладнання.

До недоліків контактного сушіння можна віднести: ризик перегріву – якщо нагрівальна поверхня не контролюється належним чином, може виникнути ризик перегріву матеріалу; нерівномірність сушіння – у деяких випадках контактне сушіння може призвести до нерівномірності сушення матеріалу; потенційний ризик втрати якості – неправильне контактне сушіння може призвести до зміни текстури чи втрати поживних речовин у сушеному продукті.

Сушіння розпиленням – це процес сушіння, під час якого розпилені краплі розпилюються у гарячому газі для видалення вологи з матеріалу. Цей метод широко використовується в харчовій промисловості, фармацевції, хімічній промисловості та інших галузях для сушіння різних продуктів.

З'явився революційний підхід, який поєднує сушіння розпиленням із сублімаційним сушінням. Це новий процес, який дає характерні порошкоподібні продукти, зберігаючи при цьому переваги традиційних сублімованих продуктів. Техніка сушіння за допомогою розпилювального заморожування – це триетапний метод, який включає розпилення рідини або рідини на краплі, їх затвердіння шляхом взаємодії з охолоджувальною водою та сублімацію при низькій температурі та взаємодії під тиском із кріорідкою фазою. Розпилювальна сублімаційна сушарка (PCC), поєднує в собі переваги сублімаційного та розпилювального сушіння, але має справу з їхніми недоліками. PCC – це чудова технологія сушіння для виробництва біоактивних речовин, чутливих до тепла та світла, завдяки процесу розпилення та наднизькій температурі. Розпилювальна сублімаційна сушарка використовується для виготовлення ряду харчових продуктів і біопродуктів, таких як порошки для швидкого харчування, сухі ароматизатори, активні фармацевтичні

компоненти, ліки, які погано розчиняються у воді, пробіотики, білки, ферменти та вакцини (Chhabra, 2024).

До переваг сушіння розпиленням можна віднести: швидкість сушіння – процес розпилення дозволяє швидко видаляти вологу з матеріалу завдяки великій поверхні контакту між розпиленою краплею та гарячим газом; збереження поживних речовин – контрольовані температура і швидкість сушіння можуть допомогти зберегти поживні речовини та якість продукту під час процесу; можливість робити порошки – сушіння розпиленням дозволяє отримати продукт у формі порошку, що полегшує подальшу обробку та зберігання.

До недоліків сушіння розпиленням можна включити: висока витратність – обладнання для сушки розпиленням може бути досить витратним у придбанні та обслуговуванні; ризик зміни властивостей продукту – неправильні умови сушіння можуть призвести до зміни текстури, кольору чи смаку продукту; контроль якості – необхідно дбати про контроль параметрів процесу для забезпечення якості сушеного продукту.

Сушіння на сонці є технікою, яка використовується для консервації їжі шляхом випаровування води з неї за допомогою сонячного тепла.

Сушіння за допомогою сонячної енергії є економічним і екологічно чистим способом, ніж інші методи сушіння. Харчові продукти сушать за допомогою сонячної енергії різними методами, такими як сушіння на відкритому сонці, пряме, непряме, змішане та гібридне сонячне сушіння. Існують деякі параметри, які значною мірою впливають на сонячне сушіння харчових продуктів. Усадка харчових продуктів впливає на швидкість сушіння та якість харчових продуктів, оскільки включає розтріскування поверхні, зміни об'єму, пористості та твердості. Значення коефіцієнтів поверхневої передачі, включаючи коефіцієнт масопередачі і коефіцієнт теплопередачі, дають масу і швидкість передачі тепла від поверхні харчового продукту, оскільки ці параметри є параметрами поверхні (Reddy Mugi, 2021).

Сушіння на сонці є найбільш традиційним і економічно ефективним методом, однак, якщо з ним не поводитися належним чином, можуть виникнути серйозні наслідки, такі як:

1. Високий рівень післязбиральних втрат. Час збору врожаю деяких продуктів харчування припадає на осінь, і погода зазвичай похмура та дощова, тому традиційний метод сушіння на сонці не може бути проведений, що призводить до високого рівня втрат після збирання врожаю, що приносить величезні економічні збитки фермерам.

2. Забруднення продуктів харчування. Фермери часто сушать харчові продукти на асфальтованих дорогах. Розплавлений під високою температурою асфальт легко змішується з харчовими продуктами, викликаючи забруднення бензопіреном. Крім того, висушування на сонці також чутливе до природних джерел забруднення, таких як пил, комахи та худоба.

3. Погіршення якості їжі. Свіжі харчові продукти мають високий вміст вологи та схильні до утворення цвілі у теплом та вологому середовищі. Запліснявілі харчові продукти ризикують виробляти небезпечні речовини, такі

як афлатоксини, споживання таких харчових продуктів може спричинити захворювання (Huang, 2023).

Переваги сушіння на сонці включають економічну ефективність, оскільки не потрібно електроенергії; швидкий процес сушіння та збереження більшої кількості поживних речовин у порівнянні з іншими методами консервації.

Однак є також недоліки сушіння на сонці. Основний недолік полягає в залежності від погодних умов – якщо немає достатньо сонця, процес сушіння може тривати довше або взагалі зупинитись. Крім того, існує ризик забруднення або псування продуктів внаслідок впливу шкідливих мікроорганізмів.

Незважаючи на те, що багато традиційних технологій сушіння (сушіння гарячим повітрям, заморожуванням, сушіння в мікрохвильовій печі) були успішно застосовані для різних харчових продуктів, кожна техніка сушіння має свої переваги та недоліки. Нові методи сушіння, такі як інфрачервоне сушіння, стали дуже популярними (Huang, 2021).

Існує багато методів сушіння харчових продуктів, але сушіння розпиленням і сублімаційне сушіння широко застосовуються для промислового сушіння різноманітних термочутливих харчових продуктів, маючи на увазі ефективність сушіння, а також збереження поживних компонентів харчових продуктів. Зовсім недавно нова передова техніка розпилювальної сублімаційної сушарки почала розвиватися в харчовому секторі для виконання цієї дуже важливої одиничної операції сушіння. У цьому процесі поєднуються переваги традиційних методів сублімаційного та розпилювального сушіння (Chhabra, 2024).

Надкритичне сушіння (НС) з'явилося як технологія, альтернативна звичайним технологіям сушіння. НС вирішує проблеми, з якими стикаються продовольчі ринки, забезпечуючи високий рівень збереження поживних речовин і продукти найвищої якості, які нагадують оригінальні продукти. Надкритичний діоксид вуглецю є широко використовуваним розчинником, який розчиняє воду в зразку та відокремлюється під час декомпресії. Співрозчинник (етанол) використовується перед нанесенням надкритичної рідини для підвищення ефективності сушіння процесу НС (Pravallika, 2023).

Обговорення. В результаті проведених наукових досліджень світовими науковцями можна провести порівняльний аналіз методів сушіння продуктів харчування.

Сушіння сонцем обмежується часом сушіння та нерівномірністю.

Сушіння в контакт гарячим теплоносієм (до 150°C) в промислових конвективних сушарках і сушка повітрям (до 85°C) є оптимальними через доступність в експлуатації та низьку вартість. Але високі температури негативно позначаються на колір, текстуру.

Швидко висушує продукти мікрохвильова піч, але можливе пересушення через зневод-

нення через порушення контролю за обміном тепла.

Одним із термічних методів є сушіння розпиленням з температурами до 210°C агенту. Кінцевий результат продукту залежить від параметрів під час роботи сушарки: температури, швидкості розпилення та потоку живлення, типу носія. В результаті можемо втратити сполуки, які залежать від температури (фруктові порошки).

Одним із альтернативних способів відновлення пошкоджень в речовині є сублімаційне сушіння видалення вологи, замерзанням вологи з наступною сублімацією льоду до пари шляхом кореляції тиску і температури. Але низька продуктивність та коштовна вартість експлуатації.

Аналогом сублімаційного сушіння є вакуумне сушіння для всього процесу, окрім фази заморожування для фруктів, соків, овочів. Сушіння вакуумом може зруйнувати будову продукту харчування. Вакуумне сушіння подібне до сублімаційного сушіння, яке включає весь процес, крім стадії заморожування (наприклад, фруктів, овочів, високоякісних порошкових соків). Вакуумне сушіння може порушити структуру харчового продукту.

Останнім часом вже більшу популярність набирають комбіновані способи сушіння, які включають в себе декілька механізмів видалення вологи з оброблюваного продукту. При виборі оптимальної комбінації способів для інтенсифікації процесу сушіння необхідно надавати перевагу таким, в яких отримання теплової енергії відбувається при найменшій кількості етапів перетворення електричної енергії (Savoiskyi, 2021, 2023; Chervinsky, 2023). Це дозволить зменшити питомі витрати енергії на здійснення процесу зневоднення при забезпеченні встановленої якості готового продукту.

Висновки. Нові технології та інновації в галузі сушіння продуктів харчування спрямовані на поліпшення ефективності, збереження поживних речовин та збільшення швидкості сушіння.

Спостерігаються тенденції розвитку сучасних процесів сушіння:

- використання сонячної енергії для сушіння, яка є екологічно чистим та енергоефективним способом сушіння продуктів;

- розвиток методів сушіння від високих температур до низьких температур, що дозволяє зберігати більше поживних речовин у висушених продуктах;

- використання технологій регулювання вологості, що дозволяє контролювати процес сушіння для досягнення оптимальних результатів;

- розробка нових комбінованих способів зневоднення сировини, які дозволяють зменшити питомі витрати енергії на здійснення процесу зневоднення при забезпеченні встановленої якості готового продукту.

Ці та інші інновації спрямовані на покращення процесу сушіння продуктів харчування та забезпечення високої якості сухих продуктів для споживачів.

Бібліографічні посилання:

1. Chervinsky, L., Savoiskyi, O., Sirenko, V. (2023). The influence of ultrasonic processing on the structure and electrophysical properties of fruit in combined drying. *Machinery & Energetics*, vol. 14, 2, pp. 70–79, 2023, doi: 10.31548/machinery/2.2023.70.

2. Chhabra, N., Arora, M., Garg, D., Kumar Samota, M. (2024) Spray freeze drying – A synergistic drying technology and its applications in the food industry to preserve bioactive compounds, *Food Control*, 155, doi:10.1016/j.foodcont.2023.110099
3. Djekic, I., Tomic, N., Bourdoux, S., Spilimbergo, S., Smigic, N., Udovicki, B., Hofland, G., Devlieghere, F., Rajkovic, A. (2018) Comparison of three types of drying (supercritical CO₂, air and freeze) on the quality of dried apple – Quality index approach, *LWT*, 94, 64-72, doi:10.1016/j.lwt.2018.04.029
4. Habibat Animashaun, O., Samuel Sobowale, S. (2024) Microwave exposure of tomato varieties before catalytic oven drying and its effect on physicochemical and bioactive components studied by Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy, *Food and Humanity*, 2, doi:10.1016/j.foohum.2023.12.005
5. Huang, Y., Sun, Y., Mehmood, A., Lu, T., Chen, X. (2024) Unraveling the temporal changes of Maillard reaction products and aroma profile in coffee leaves during hot-air drying, *Journal of Food Composition and Analysis*, 128, doi:10.1016/j.jfca.2024.106055.
6. Huang, D., Huang, W., Huang, S., Zhou, F., Gong, G., Li, L., Sunden, B. (2023) Applications of spouted bed technology in the drying of food products, 182, doi:10.1016/j.lwt.2023.114880.
7. González-Cavieres, L., Pérez-Won, M., Tabilo-Munizaga, G., Jara-Quijada, E., Díaz-Álvarez, R., Lemus-Mondaca, R. (2021) Advances in vacuum microwave drying (VMD) systems for food products, *Trends in Food Science & Technology*, 116, 626-638, doi:10.1016/j.tifs.2021.08.005.
8. Pravallika, K., Chakraborty, S., Singhal, R. S. (2023) Supercritical drying of food products: An insightful review, *Journal of Food Engineering*, 343, doi:10.1016/j.jfoodeng.2022.111375.
9. Reddy Mugi, V., Chandramohan, V.P. (2021) Shrinkage, effective diffusion coefficient, surface transfer coefficients and their factors during solar drying of food products – A review, *Solar Energy*, 229, 84-101, doi:10.1016/j.solener.2021.07.042.
10. Savoiskyi, O., Yakovliev, V., Sirenko, V. (2021). Determining the kinetic and energy parameters for a combined technique of drying apple raw materials using direct electric heating. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 1, 11 (109), pp. 33–41, doi: 10.15587/1729-4061.2021.224993.
11. Savoiskyi, O., Sirenko, V. (2023). Revealing the influence of ultrasonic processing on the kinetic parameters of convective and combined drying of raw apple materials. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 2, 11 (122), pp. 91–98, doi: 10.15587/1729-4061.2023.276748.
12. Septya Kusuma, H., Nurul Izzah, D. (2023) Irmanda Wastu Lintu Linggajati, Microwave-assisted drying of *Ocimum sanctum* leaves: Analysis of moisture content, drying kinetic model, and techno-economics, *Applied Food Research*, 3, 2, doi: 10.1016/j.afres.2023.100337.
13. Zambrano, M. V., Dutta, B., Mercer, D. G., MacLean, H. L., Touchie, M. F. (2019) Assessment of moisture content measurement methods of dried food products in small-scale operations in developing countries: A review, *Trends in Food Science & Technology*, 88, 484-496, doi: 0.1016/j.tifs.2019.04.006.

Volvach T. S., Assistant, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Savoiskyi O. Yu., Senior Lecturer, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Sirenko Yu. V., PhD, Assistant Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Methods of drying food products: advantages, disadvantages and development trends

Vegetables and fruits are essential sources of beneficial vitamins and minerals necessary for the normal functioning of the human body. Due to their high-water content, these products are very sensitive to temperature and quickly spoil, necessitating processing for long-term storage.

After harvesting, about 70% of the crop can be lost within a short period due to the limited shelf life of fresh raw materials, significantly impacting economic indicators. The main factor leading to such significant losses is excessive moisture, which promotes the growth of harmful microflora and rapid spoilage of the produce. Therefore, storing raw materials with high moisture content is complicated by high temperatures in some countries, inadequate refrigerated facilities, and storage warehouses. The moisture content in harvested fresh products can reach 80–90%. Without proper processing, they are susceptible to mold and rot, which compromises their quality and renders them unfit for consumption. Furthermore, the harvesting window is limited and can be very short. To ensure quality food storage, harvested raw materials need to be processed promptly. One of the most common and efficient methods of such processing is drying.

Drying is one of the ancient methods of crop preservation used in agriculture and the food industry. This method of quality processing ensures a long shelf life of the product, reduces weight and volume of the material, and eliminates microorganisms. Drying is the most effective method of processing when suitable conditions for storing the produce in its raw state are unavailable. However, if the drying technology is not followed correctly, it can reduce the shelf life and quality of the finished product. In addition to ensuring the established storage period, all quality indicators and nutrients contained in the raw product must be preserved during the drying process.

As a result of the theoretical analysis of drying methods and techniques, including natural drying, convective drying, boiling layer drying, spraying, using high and ultra-high frequency energy, osmosis, extrusion, and sublimation, the advantages and disadvantages of each method were identified, and modern trends in implementing high-efficiency drying methods for raw materials were considered. New technologies and innovations in the field of food drying are aimed at improving efficiency, increasing the productivity of drying equipment by reducing processing time, as well as preserving nutrients and enhancing the quality of the finished product.

Key words: *fruit and vegetable raw materials, raw material storage, advantages and disadvantages of drying methods, energy efficiency of dehydration, drying time, natural drying, convective drying, sublimation, microwave drying, spray drying, combined drying.*