



УДК 66.047.45

DOI: 10.37128/2520-6168-2023-1-14

## ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ КОНВЕКТИВНОЇ СУШАРКИ ВОЛОСЬКИХ ГОРІХІВ

**Яропуд Віталій Миколайович**, к.т.н., доцент  
**Лавренюк Петро Петрович**, аспірант  
Вінницький національний аграрний університет

**Vitalii Yaropud**, Ph.D., Associate professor  
**Petro Lavreniuk**, Postgraduate student  
Vinnytsia National Agrarian University

*Волоські горіхи належать до продуктів, найбільш схильних до ризику окислювального псування на етапах зберігання, транспортування та реалізації. При цьому слід враховувати, що конкретні ботанічні сорти, вирощені у різних географічних регіонах, мають індивідуальний хімічний склад, що визначає інтенсивність протікаючих окислювальних процесів, тому горіхи різних партій мають різний потенціал до зберігання. Відсутність системи простежуваності партій горіхів, що закуповуються, на етапах виробництва, логістики та реалізації, а також відсутність об'єктивних методів оцінки потенційного рівня збереженості, що призводить до некоректного встановлення термінів придатності волоських горіхів, і як наслідок, у торгових мережах реалізується понад 30% волоських горіхів з ознаками гіркоти.*

*Якість горіхів при зберіганні залежить в основному від вмісту вологи, температури зберігання, відносної вологості повітря, рівня вмісту кисню, товарного виду горіхів, пакувальних матеріалів, форми зберігання та виду технологічної обробки горіхів (без шкаралупи, у шкаралупі, обсмажені тощо). Горіхи відносяться до продуктам тривалого зберігання.*

*Метою досліджень є комплексний аналіз роботи сучасних конвективних сушарок сільськогосподарської сировини і визначення шляхів їх удосконалення для забезпечення якісного та рівномірного сушіння.*

*За результатами аналізу існуючих сушильних установок, визначено їх недоліки та переваги.*

*Проаналізовано особливості застосування бункерних сушарок у різних лініях виробництва серед промислових товарів, харчових продуктів, будівельних матеріалів, що потребують перемішування сипучого продукту. Застосування цих сушарок показало високу надійність в експлуатації при сушінні значних обсягів сировини, відсутність застійних зон, високу результативність процесу автоматизацію всього технологічного процесу сушіння.*

*Для інтенсифікації процесу конвективного сушіння необхідно поліпшити тепло- і масоперенесення як усередині, так і зовні сировини, збільшення температури сушіння неминуче призведе до перегріву продукту і втрат біологічно корисних речовин, тому одним із шляхів збільшення швидкості сушіння може бути застосування пристроїв, що перемішують, і пристроїв, встановлених всередині сушильної камери.*

**Ключові слова:** процес, параметри, дослідження, сушіння, волоський горіх, конвекція, сушарка.

**Рис. 12. Літ. 25.**

### 1. Вступ

Волоський горіх (*Juglans regia* L.) є найважливішою горіховою культурою в Україні зі значним експортним потенціалом. Під ним зайнято 13,5 тис. га, а щорічне виробництво горіхів в Україні перевищило 100 тис. т. Україна входить до п'ятірки найпотужніших країн-виробників волоського горіха в світі. Її частка за останні п'ять років складає 5 % від світового виробництва (частка Китаю – 40 %, США – 32, Чилі – 6, Іран – 5, Франція – 2, інші країни разом – 10 %) (Nut & Dried Fruits, 2018). Горіхова галузь стрімко розвивається, зростання світового виробництва волоських горіхів за останнє десятиріччя становить 37 %. Останні п'ять років Україна займає другу позицію серед експортерів волоських горіхів після США. Частка США складає 50 % світового експорту, України – 10, Чилі – 9, Молдови – 6, Німеччини, як транзитної країни – 3, Китаю – 3, інших країн разом – 19 %. Найбільшими імпортерами волоських горіхів є Німеччина, Японія, Нідерланди, Іспанія, Франція, Корея, Велика

Британія, Канада, Італія, Туреччина тощо [1].

Україна щороку заробляє понад 100 мільйонів доларів США від експорту очищених волоських горіхів і ще мільйони доларів США від торгівлі неочищеними волоськими горіхами. Загалом, світовий ринок торгівлі горіхами становить 2,3 млрд доларів США на рік для горіхів у шкаралупі та 1,2 млрд доларів США на рік для горіхів без шкаралупи [2]. Горіхові дерева століттями виділялися в українському культурному ландшафті. Приблизно 10 мільйонів дерев ростуть по всій країні та знаходяться в більшості домашніх господарств. Однак за споживанням волоських горіхів українці поступаються жителям таких країн, як Нідерланди, Ізраїль, Австрія, Іран та Австралія.

Волоські горіхи представляють великий інтерес для економіки країни. Вони є джерелом олії [3], їх можна вживати у природному вигляді, їх можна використовувати як компоненти інших продуктів [4], у тому числі функціональних, за рахунок високого вмісту ненасичених жирів, білків, вітамінів та мінеральних речовин [5]. Волоські горіхи є натуральним, багатим поживними речовинами харчовим продуктом.

## 2. Аналіз останніх досліджень та публікацій

У харчовій промисловості сушіння є звичайним процесом для зниження вологості та водної активності харчових продуктів, щоб полегшити транспортування і збільшити термін зберігання з мінімізованими вимогами до пакування. Сушіння – це одночасний процес передачі тепла і вологи. Як показано на рис. 1, у типовому процесі сушіння тепло протікає всередині матеріалу через провідність у твердій фазі або конвекцію в рідкій фазі [6]. Волога дифундує через капіляри та пори всередині матеріалу проти напрямку теплового потоку. Загальноприйнято вважати, що волога в харчових матеріалах переміщується у формі рідини та пари. Механізмом транспортування води є капілярний потік або дифузія рідини через гігроскопічну пористу структуру [7, 8]. Механізм перенесення пари – це дифузія, викликана градієнтом тиску пари та температури між харчовим матеріалом і навколишнім середовищем. Зовні поверхнева волога зазвичай видаляється середовищем для сушіння за допомогою процесу конвекції. Конкретний механізм перенесення вологи на різних етапах під час сушіння залежить від методів сушіння та стану вологи у харчових матеріалах.

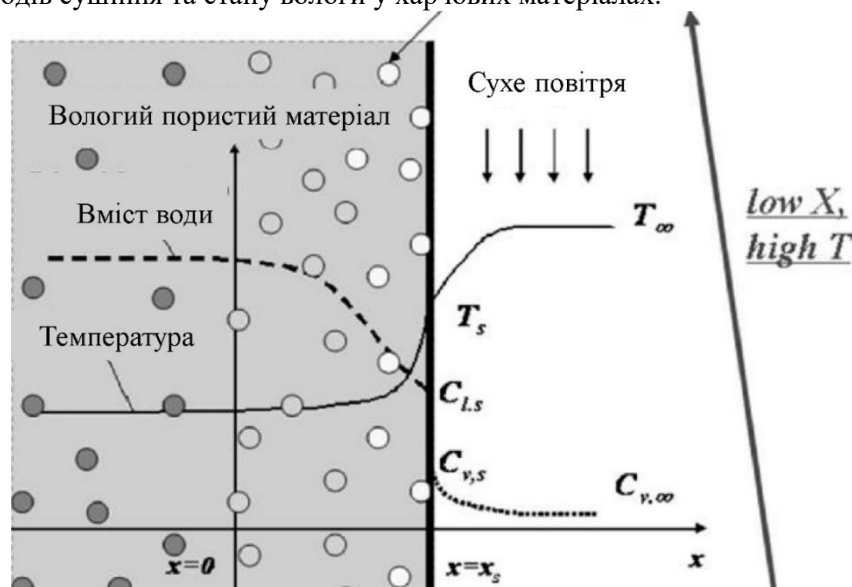


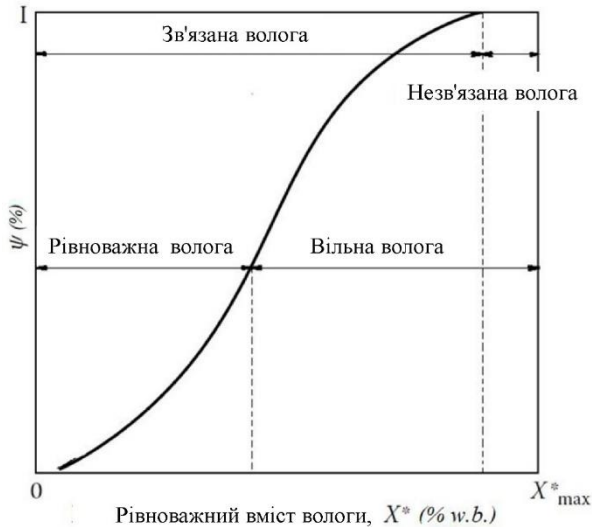
Рис. 1. Схематична діаграма передачі тепла та вологи під час сушіння харчових продуктів [7]

Стан або форму зв'язаної вологи в твердих харчових матеріалах можна досліджувати за допомогою ізотерми вологи, яка характеризує зв'язок між рівноважним вмістом вологи та активністю води. Типова ізотерма вологи під час процесу сушіння показана на рисунку 2. У будь-якій точці кривої вміст вологи в харчовому матеріалі є рівноважною вологістю за певної відносної вологості та температури навколишнього середовища, а будь-який вміст вологи вище цієї точки є вільною вологою [9].

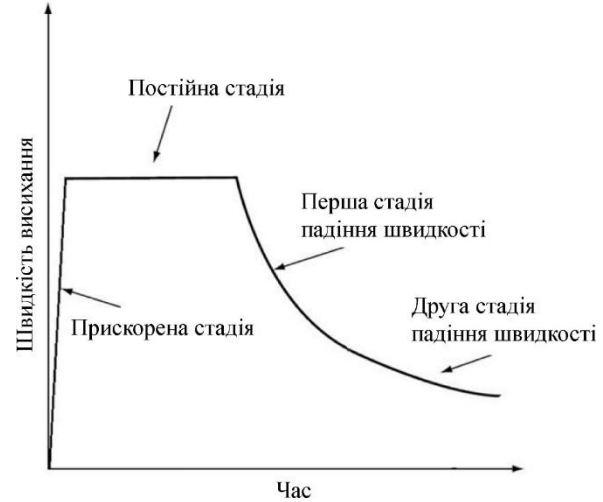


Незв'язана волога належить до води, яка механічно прикріплена до твердої поверхні, що включає вологу, поглинену поверхнею води, яка залишається в деяких відносно великих розколах і отворах. Сила зв'язку між вологою та твердою речовиною зазвичай слабка, а тиск її пари дуже близький до тиску чистої води при тій же температурі. У процесі сушіння незв'язана волога легко і часто спочатку видаляється.

Типовий процес сушіння харчових продуктів має три чіткі стадії [10], як показано на рис. 3. Перша стадія – це прискорена стадія, яка пов'язана з початковим нагріванням. Коли температура матеріалу починає зростати, швидкість висихання також збільшується.



**Рис. 2. Типова ізотерма вологи під час процесу сушіння [9]***Ошибка! Закладка не определена.*



**Рис. 3. Характеристики типової кривої швидкості висихання харчових матеріалів [10]**

Другий період – стадія постійної швидкості. Під час цієї стадії на поверхні харчового матеріалу або всередині зазвичай є велика кількість вільної вологи, яку можна швидко видалити з майже постійною швидкістю. Оскільки волога на поверхні швидко випаровується, майже все тепло, що виділяється середовищем для сушіння, використовується для подолання прихованої теплоти випаровування вологи, і температура дослідного зразка майже стабільна впродовж цього періоду. Перші дві стадії сушіння обмежені теплопередачею, і швидкість сушіння зазвичай контролюється температурою, відносною вологістю та швидкістю висушувального середовища [11].

Третій період – це стадія падіння швидкості, коли більшість зв'язаної вологи видаляється. Швидкість сушіння на цій стадії сушіння обмежена швидкістю масообміну. Як показано на рис. 3, швидкість сушіння поступово зменшується, оскільки вологість в матеріалі повільно досягає рівноважної вологості. Етап спадного періоду можна додатково розділити на два етапи. У перший період падіння швидкості було видалено слабо зв'язану вологу; на другій стадії зниження швидкості видаляється міцно зв'язана волога.

Під час звичайного збирання врожаю волоські горіхи струшують з дерева на землю в саду, а потім збирають і передають у сушильну установку для обробки. У цей період волоські горіхи в певній мірі просушуються природним шляхом залежно від погодних умов.

Було проведено багато досліджень, щоб визначити характеристики сушіння волоських горіхів з використанням різних технологій штучного сушіння. В роботі [12] розробили технологію непрямого сонячного сушіння та провели пілотне дослідження періодичного сушіння за різних температур сушіння (37 °C, 39 °C та 41 °C), швидкості повітряного потоку (0,065 м<sup>3</sup>/с, 0,075 м<sup>3</sup>/с і 0,09 м<sup>3</sup>/с) та глибини пласта (2 шари, 4 шари і 6 шарів). Їх експериментальні результати показали, що всі три вищезазначені фактори мали значний вплив на ефективність сушіння. Найкраща продуктивність сушіння була отримана за найвищого потоку повітря, температури сушіння та глибини шостого шару.

Сушіння гарячим повітрям є однією з найбільш часто використовуваних технологій для сушіння харчових продуктів завдяки її відносно легкій експлуатації та низьким експлуатаційним витратам [13]. В роботі [14] досліджували характеристики сушіння волоських горіхів у шкаралупі за допомогою лабораторної сушарки з гарячим повітрям при різних рівнях температури (32 °C та 43 °C), швидкості повітря (1 м/с та 3 м/с) та сортів (Serr, Pedro, Z67, K82). Вони встановили, що сушіння волоського горіха в основному відбувалося в період падіння швидкості, і всі три фактори суттєво

вплинули на час і кінетику сушіння. Вища температура сушіння та швидкість повітря призвели до скорочення часу сушіння.

Автори роботи [15] показали, що сушіння зерна з поступовою зміною температури повітря сприяло економії енергії. Вчені [16] досліджували характеристики сушіння та якість продукту скибочок банана за температурних профілів поступового збільшення і поступового зниження. Автори встановили, що використовуючи поступову зміну температури з початковою температурою та тривалістю циклу, можна значно скоротити час сушіння і покращити якість продукту.

### 3. Мета та завдання дослідження

Метою досліджень є комплексний аналіз роботи сучасних конвективних сушарок сільськогосподарської сировини і визначення шляхів їх удосконалення для забезпечення якісного та рівномірного сушіння.

### 4. Виклад основного матеріалу

Комплексний аналіз роботи сучасних конвективних сушарок сільськогосподарської сировини проводився відповідно до СОУ НАН 73.1-001:2011 «Організація і проведення науково-дослідних робіт», ДСТУ 3575-97 «Патентні дослідження. Основні положення та порядок проведення» і загально прийнятих методик щодо інформаційного пошуку.

Нова технічна база в сучасних умовах сільськогосподарського виробництва повинна ґрунтуватись на технологічних прийомах, які забезпечують можливість післязбиральної обробки за місцем його діяльності в необхідні для виробника терміни. У таких умовах при розробленні нової техніки доцільно орієнтуватися на реалізацію технологій, які використовують енерго- і ресурсощадні принципи сушіння без втрати якості й кількості насіння [17].

На сьогоднішній день існує чимало різноманітних конструкцій та типів сушарок (рис. 4). Розробка високопродуктивного сушильного обладнання можлива завдяки широким науковим дослідженням, що проводяться у даній галузі. Одним із основних і поширених методів (за способом теплопередачі) сушіння для зневоднення різного типу сировини вважається конвективний. Даний метод сушіння заснований на передачі розігрітого агента сушіння (повітря або парогазова суміш), який має більш високу температуру, при зіткненні з сировиною, частки теплоти і поглинання вологи з сировини.

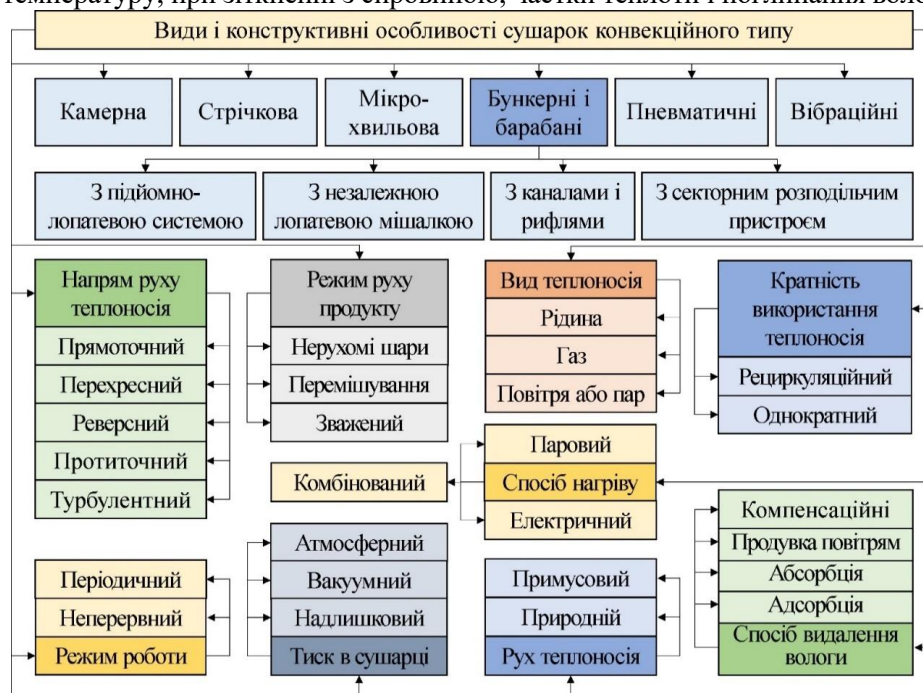


Рис. 4. Класифікація видів і конструктивні особливості сушарок конвективного типу

Існують різні види конструкцій для сушіння рослинної сировини, які відрізняються одна від одної схемами, спрощеною роботою в експлуатації, вартістю, можливістю роботи від різних джерел енергії, а також оснащенням складним додатковим обладнанням [18].

Нині сучасні сушарки [19], що використовуються для сушіння рослинної сировини, повинні:





забезпечити рівномірне нагрівання і сушіння продукту, мати високу продуктивність з найменшою металоємністю, бути зручними в обслуговуванні, надійними та економічними за питомими витратами теплоти.

При конвекційному сушінні плодів до більш значущих факторів слід відносити показники сушильного агента (його температуру і величину швидкості руху), товщина шару та його стан (може бути щільним, розпушеним, псевдозрідженим і зваженим).

При певному режимі сушіння, необхідно враховувати не тільки термостійкість сировини та її біологічну природу, але й структурно-механічні властивості, від яких залежить збереження форми та міцність сировини. Отже, від властивостей сировини залежить обґрунтування методів та режимів сушіння, а від режиму – вибір конструкції сушильного апарату. За режимом роботи в сушарках періодичної дії, температуру і вологість сушильного агента змінюють за часом, в процесі сушіння після зниження вмісту вологи продукту до певного значення, температуру підвищують, а відносну вологість сушильного агента знижують. Дані сушильні апарати застосовуються в більшості випадків для сушіння продуктів, що вимагають чіткого регулювання режиму в процесі сушіння, а також за невеликої продуктивності.

Розглянемо найбільш поширене обладнання [20], що застосовують для сушіння рослинної сировини, внаслідок чого визначимо їх ряд переваг і недоліків.

**Стрічкова сушарка** (рис. 5), у харчовій промисловості використовують багаторівневі сушарки. Робота цих сушарок здійснюється безперервно при атмосферному тиску з продуванням рухомого шару. Подача сушильного агента (нагрітого повітря або паливних газів) здійснюється за заданими параметрами. Сушарки виготовляють у вигляді одного або декількох розташованих один над іншим стрічкових конвеєрів, що мають індивідуальні привода, які встановлені усередині сушильної камери. Як несуче полотно конвеєра, використовують металеву плетену сітку або перфоровані штамповані або пластинчасті стрічки. Швидкість руху стрічки 0,1-0,7 м/хв. Волога початкова сировина подається через завантажувальний бункер на поверхню гнучкої перфорованої стрічки, потім продукт послідовно переміщається, далі через інший кінець стрічки видаляється висушена сировина. Залежно від необхідного режиму процесу сушіння, робота приводного барабана здатна змінюватися як безперервно, так і періодичного. При здійсненні пересипання продукту зі стрічки на стрічку відбувається перемішування, і площа зіткнення поверхні з агентом сушіння значно зростає, що впливає на збільшення рівномірності і швидкості просушування.

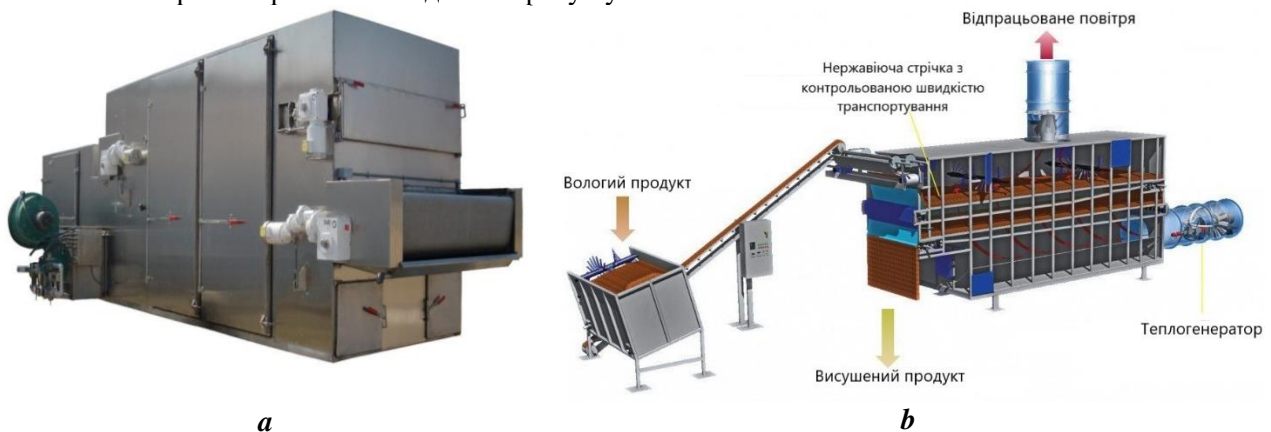


Рис. 5. Загальний вигляд (а) і конструктивно-технологічна схема (б) стрічкової сушарки [20]

Стрічкові сушарки використовуються для сушіння сипучої (зернистої, гранульованої, великодисперсної) і волокнистої сировини, а також коштовних готових виробів та напівфабрикатів. Перевагою можна вважати ймовірність відмови від ручної праці при завантаженні та вивантаженні сировини. Основними недоліками стрічкових сушарок є великі габарити, труднощі в обслуговуванні через часті ремонти, пов'язані з розтягуванням і перекосами стрічки, в процесі видалення вологи відбувається злипання продукту (утворення агломератів) і нерівномірне просихання, значні експлуатаційні витрати.

**Камерні сушарки.** Головною складовою частиною камерних сушарок є прямокутна камера (рис. 6), всередині якої розташовується сировина, що висушується, в подібних агрегатах сушіння сировини виконується в періодичному режимі при атмосферному тиску [21].

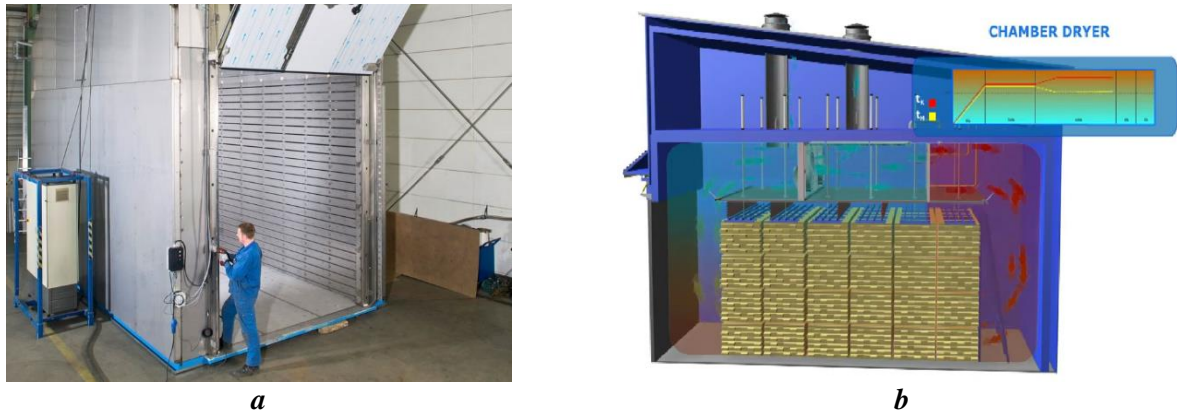


Рис. 6. Загальний вигляд (а) і конструктивно-технологічна схема (b) камерної сушарки [21]

Сушарки мають одну або кілька прямокутних камер. Сировина безпосередньо знаходиться у вагонетках або розміщується на полицях (деках), які встановлюються на стелажах. Сировина висушується в нерухомому стані впродовж усього процесу сушіння за природньої або примусової циркуляції сушильного агента. При цьому сушильний агент піддається багаторазовій циркуляції з проміжним підігрівом. Завантаження та вивантаження продукту виконується з одного боку сушарки. Для зручності завантаження-вивантаження сухий продукт розмішують на вагонетках, які періодично перемішують вручну або спеціальними механізмами. Дані сушарки застосовуються за малої кількості сухої сировини або в тих випадках, коли потрібно точніше регулювати режим сушіння, що важко досягти у сушарках безперервної дії, а також, якщо сировина вимагає тривалої тривалості процесу сушіння.

Перевагою камерних сушарок, в першу чергу є простота конструкції, можливість висушування різного виду сировини, відсутність рухомих елементів (не відбувається механічне руйнування сировини). Втім, камерним сушаркам властивий ряд недоліків. Перш за все, втрати тепла при завантаженні та вивантаженні сировини з камер, значне використання ручної праці, періодичність дій, оскільки сировина знаходиться у нерухомому шарі, при цьому виникає нерівномірність, тим самим збільшується тривалість сушіння, порівняно висока та неефективна витрата електроенергії. У камерних сушарках важко здійснювати регулювання режимів сушіння по довжині сушильних камер, температура і вологість сушильного агента змінюються по усій довжині камери (в просторі), у міру того як сушильний агент рухається по поверхні продукту він охолоджується, а вологий вміст його збільшується, тим самим виникає складність обслуговування та контролю процесу сушіння.

**Тунельні (коридорні) сушарки.** Головною складовою тунельних сушарок (рис. 7) вважається подовжена камера (довгий коридор), всередині якої сушать сировину, що повільно рухається у поздовжньому напрямку на рейках, за допомогою механізованих вагонеток (візок, колісок) [22].

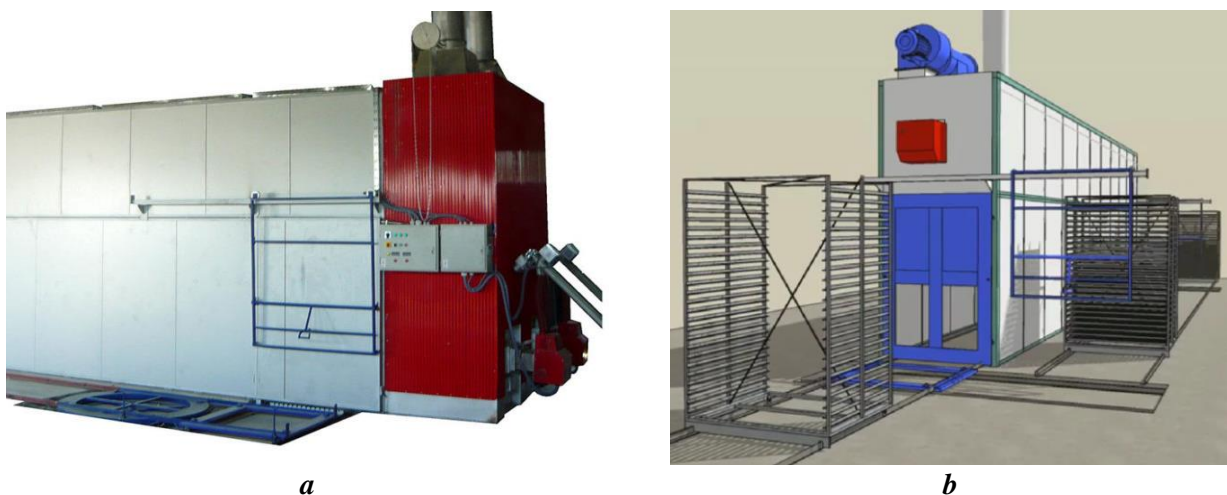


Рис. 7. Загальний вигляд (а) і конструктивно-технологічна схема (b) тунельної сушарки [22]

За режимом роботи тунельні сушарки є сушарками безперервної дії, іноді їх називають коридорними. Вони використовуються для масового сушіння крупнозернистої, кускової, сипучої і



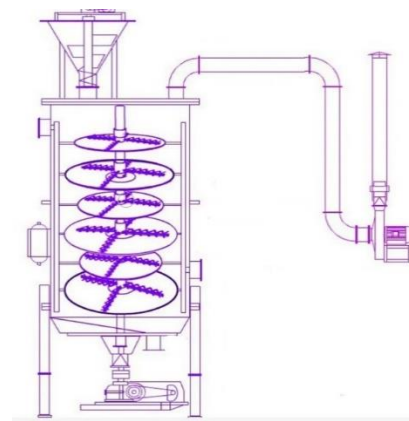
волокнистої сировини, не створюючи великого зовнішньо-дифузійного опору процесу сушіння. Сировину зазвичай завантажують в ємності шаром 30-50 мм. Забезпечення циркуляції сушильного агента в даних сушарках досягається за рахунок роботи вентиляторів та природної конвекції. Довжина камер тунельних сушарок може сягати 70 м, а ширина до 6 м, зазор між вагонетками і верхньою частиною може бути трохи більше 70–80 мм, розташовуються впритул одна за одною, відстань між вагонетками становить трохи більше 75 мм. Агент сушіння (повітря або паливні гази) може бути поданий як прямоточним шляхом, так і протитечею, швидкість якого становить 2 м/с і більше. Період сушіння сировини становить від 15 до 30 годин.

Перевага – безперервність дій, потоковість виробництва, високий рівень механізації та продуктивності праці. Істотним недоліком тунельних сушарок є нерівномірне сушіння, внаслідок розшарування нагрітого і холодного повітря, труднощі регулювання циркулюючого сушильного агента, ручне обслуговування, відсутність технічних засобів для перемішування сировини.

**Шахтні сушарки.** За режимом роботи шахтні сушарки (рис. 8) є сушарками безперервної дії і використовують для сушіння зерна, кормових продуктів (макуха, шрот тощо), вичавки і різної сипкої сировини.



а



б

Рис. 8. Загальний вигляд (а) і конструктивно-технологічна схема (б) шахтної сушарки [22]

Дані сушарки складаються в основному з вертикальної шахти, в якій сипуча сировина, яка висушується, переміщується під дією сили тяжіння по обертовим дискам або конусам. При цьому сушильний агент пронизує шар сипучої вологої сировини.

Перевагами шахтних сушарок є універсальність, оскільки конструкція сушарок дозволяє здійснювати регулювання параметрів сушіння (температура теплоносія, витрата теплоносія), при рекуперації теплого повітря знижуються енерговитрати. До недоліків конструкції слід віднести великий розмір та велику металомісткість. Необхідно зводити фундамент для встановлення шахти. Все це призводить до високої вартості конструкції і великих трудовитрат при монтажі.

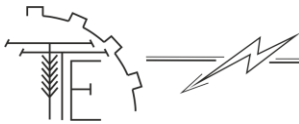
**Вакуумні сушарки.** Вакуум-сушильні шафи періодичної дії, вважаються простими, контактними та герметичними сушарками (рис. 9). Шафа виконана у вигляді циліндричної, або прямокутної камери, всередині якої встановлений ряд порожнистих нагрівальних плит, на які встановлюються листи з вологою сировиною.

За допомогою вакуум-насоса пари вологи відсмоктуються через штуцер у конденсатор, де відокремлюються від повітря. Основними регулюваннями є рівень вакууму (тиск) і температура нагрівальних плит. Температура нагрівальних плит змінюється вручну або автоматично. У цій сушарці можливе швидке висушування сировини за температурного режиму 45-55 °С. При цьому у висушеній сировині максимально зберігається якість: смак, аромат, вітаміни та ін.

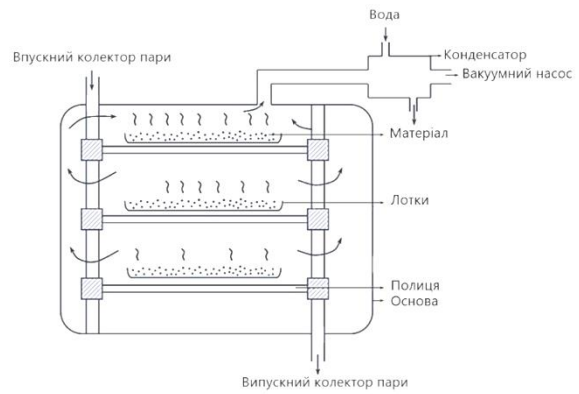
Перевага – рівномірність та швидкість процесу сушіння, компактність і надійність установки, виключається можливість займання сировини.

Недоліком сушіння під вакуумом необхідно вважати – значну вартість сушильного агрегату, за рахунок складності його конструкції та наявності спеціальної конденсаційної установки і вакуум-насоса.





a



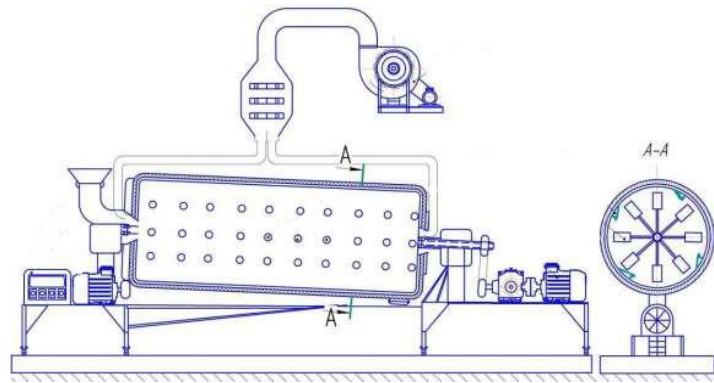
b

Рис. 9. Загальний вигляд (a) і конструктивно-технологічна схема (b) вакуумної сушарки [22]

**Барабанні сушарки.** Дані сушарки є атмосферними сушарками безперервної дії (рис. 10), і набули широкого поширення для сушіння сипких відходів харчових виробництв (буяковий жом, картопляні барди спиртових заводів, кукурудзяні паростки і мезга), застосовуються для сушіння зерна і цукру, сипучих будівельних матеріалів [23].



a



b

Рис. 10. Загальний вигляд (a) і конструктивно-технологічна схема (b) барабанної сушарки [23]

Барабанні конвективні сушарки містять циліндричний обертовий барабан, встановлений під кутом до  $6^\circ$  до горизонту, всередині барабана, залежно від властивостей сировини, що висушується, встановлені різні насадки, які забезпечують рівномірний розподіл сировини по перерізу барабана. При обертанні барабана лопаті насадки підхоплюють сировину, піднімаючи її та скидаючи, і одночасно з цим відбувається збільшення площі поверхні зіткнення продукту з газами. Падаючи, сировина піддається омиванню агентом сушіння і, в результаті, висушується. Обертання барабана здійснюється за допомогою електродвигуна та редуктора через зубчасту передачу. Далі волога сировина потрапляє з бункера за допомогою живильника і подається в сушильний барабан. З нагрівальної камери вентилятором здійснюється подача сушильного агента, в умовах прямоточного або протиточного руху по відношенню до сировини. Далі, висушена сировина з протилежного кінця сушильного барабана надходить на транспортуючий пристрій.

До переваг такої сушарки можна віднести її універсальність, можливість висушувати як харчові продукти, так і будівельні матеріали, використання різних насадок для перемішування продукту в процесі сушіння, можливість автоматизації всіх процесів, не складна в експлуатації та обслуговуванні, висока продуктивність та зносостійкість.

До суттєвих недоліків відносяться – великі габарити і чималі капітальні витрати, складність з транспортуванням і монтажем, низький рівень сировини, при сушінні рослинної продукції втрата корисних речовин у кінцевій сировині становить близько 40 %, високі експлуатаційні витрати.

**Бункерні сушарки** (рис. 11) зазвичай представляють циліндричний або конусний бункер із гвинтовим транспортером в середині. Потік теплового агента може подаватися знизу або з боків. Гвинтовий транспортер необхідний для перемішування вологого матеріалу, що забезпечує більш рівномірне обтікання кожної його частинки теплим потоком повітря [24]





Рис. 11. Загальний вигляд (а) і конструктивно-технологічна схема (б) бункерної сушарки [24]

Перевагами даного типу сушарок є простота конструкції та технічного обслуговування, достатньо висока ефективність роботи, енергоощадний режим роботи. Недоліками є висока тривалість роботи до забезпечення необхідної вологості матеріалу, високі енерговитрати через необхідність забезпечення високої швидкості потоку теплового повітря, недостатній рівень забезпечення однорідності вологості матеріалу.

Враховуючи вищеописане, авторами [25] розроблено конструктивно-технологічну схему конвективної сушарки волоських горіхів із вертикальним гвинтовим робочим органом (рис. 12). Конвективна сушарка містить сушильну камеру для горіхів, яка жорстко розміщена на рамі. Дно сушильної камери виконане у вигляді усіченого конуса і являє собою сітку з діаметром отворів 15 мм. Під сіткою розміщена повітряна камера, у яку через патрубок подається тепле повітря. У нижній частині сушильної камери через повітряну камеру проходить вивантажувальний патрубок із заслінкою. Зверху і знизу сушильної камери по середині розміщені підшипникові вузли, в яких встановлений гвинтовий робочий орган. Верхня частина гвинтового робочого органу приєднана до мотор-редуктора. В нижній частині гвинтового робочого органу в повітряній камері встановлено розподільник повітря конусоподібної форми.

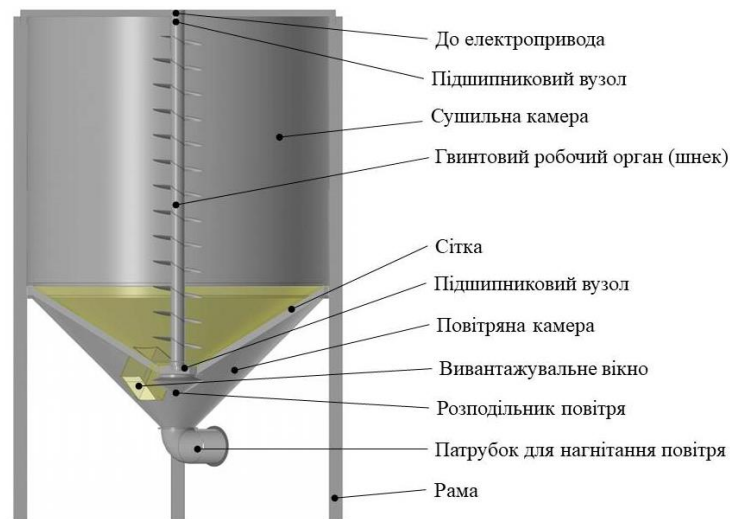


Рис. 12. Конструктивно-технологічна схема конвективної сушарки волоських горіхів [25]

Конвективна сушарка волоських горіхів працює таким чином. Волоські горіхи засипають у сушильну камеру через отвір у верхній частині. Далі потік теплового повітря подається до повітряної камери через відповідний патрубок і проходить крізь сітку до суміші горіхів. Для забезпечення рівномірності сушіння усього об'єму волоських горіхів приводять у дію гвинтовий робочий орган. При цьому горіхи, які знаходяться внизу сушильної камери піднімаються вгору виконуючи процес перерозподілу (перемішування) шарів суміші. Відкритий гвинтовий робочий орган зменшує фізичний вплив на волоські горіхи і відповідно зменшує їх травмування.

## 5. Висновки



За результатами проведеного аналізу існуючих сушильних установок, визначено їх недоліки та переваги.

Проаналізовано особливості застосування бункерних сушарок у різних лініях виробництва серед промислових товарів, харчових продуктів, будівельних матеріалів, що потребують перемішування сипучого продукту. Застосування цих сушарок показало високу надійність в експлуатації при сушінні значних обсягів сировини, відсутність застійних зон, високу результативність процесу автоматизацію всього технологічного процесу сушіння.

Для інтенсифікації процесу конвективного сушіння необхідно поліпшити тепло- і масоперенесення як усередині, так і зовні сировини, збільшення температури сушіння неминує призведе до перегріву продукту і втрат біологічно корисних речовин, тому одним із шляхів збільшення швидкості сушіння може бути застосування пристроїв, що перемішують, і пристроїв, встановлених всередині сушильної камери.

Для більш детального обґрунтування та оптимізації конструктивно-технологічних параметрів розробленої конвективної сушарки волоських горіхів необхідно провести теоретичні та експериментальні дослідження якісних і енергетичних показників технологічного процесу.

#### Список використаних джерел

1. Меженський В. М. Волоський горіх (*Juglans regia* L.). Київ : Видавництво Ліра-К, 2020. 533 с.
2. Walnut production worldwide in 2021/22, by country. URL : <https://www.statista.com/statistics/675974/walnut-production-worldwide-by-country/>.
3. Sanchez-Gonzalez C., Ciudad C. J., Noe V., Izquierdo-Pulido M. 2015. Health benefits of walnut polyphenols: An exploration beyond their lipid profile. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57 (16), 3373–3383.
4. Caglarirmak, N. 2003. Biochemical and physical properties of some walnut genotypes (*Juglans regia* L.). *Food/Nahrung*, 47 (1), 28–32.
5. Amaral J. S., Casal S., Pereira J. A., Seabra R. M., Oliveira B. P. P. Determination of Sterol and Fatty Acid Compositions, Oxidative Stability, and Nutritional Value of Six Walnut (*Juglans regia* L.) Cultivars Grown in Portugal. *J Agric Food Chem*. 2003 Dec 17:51(26):7, 698–702. DOI: 10.1021/jf030451d.
6. Chen X. D. Moisture diffusivity in food and biological materials. *Drying Technology*. 2007. 25, 1203–1213.
7. Saravacos G.D. Mass Transfer Properties of Foods [WWW Document]. *Engineering Properties of Foods*. 2014. DOI: 10.1201/9781420028805-12.
8. Paziuk V. M., Liubin M. V., Yaropud V. M., Tokarchuk O. A., Tokarchuk D. M. Research on the rational regimes of wheat seeds drying, *INMATEH - Agricultural Engineering*. 2018. Vol. 56, № 3, 39–48.
9. Mujumdar A. S. Handbook of Industrial Drying. *Fourth Edition*, CRC Press, Boca Raton, FL. 2014.
10. Mujumdar A. S., *Advances in Drying*. CRC Press, Boca Raton, FL. 1987.
11. Devahastin S., Mujumdar A.S. Batch drying of grains in a well-mixed dryer-effect of continuous and stepwise change in drying air temperature. *Transactions of the ASAE*. 1999. 42, 421–425. DOI: 10.13031/2013.13373.
12. Ghatrehsamani S. H., Zomorodian A. Impacts of drying air temperature, bed depth and air flow rate on walnut drying rate in an indirect solar dryer. *International Journal of Agriculture Sciences*. 2012. 4 (6), 253–256.
13. Chen C. Characteristics and mechanisms of walnut drying under hot air and infrared heating. Dissertation doctor of philosophy in biological systems engineering. *University of California. Davis*. 2020. 282 p.
14. Hassan-Beygi S. R., Aghbashlo M., Kianmehr M. H., Massah J. Drying characteristics of walnut (*Juglans regia* L.) during convection drying. *International Agrophysics*. 2009. 23, 129–135.
15. Devahastin S., Mujumdar A.S. Batch drying of grains in a well-mixed dryer-effect of continuous and stepwise change in drying air temperature. *Transactions of the ASAE*. 1999. 42, 421–425. DOI: 10.13031/2013.13373.
16. Chua K. J., Hawlader M. N.A., Chou S. K., Ho J. C. On the Study of Time-Varying Temperature Drying-Effect on Drying Kinetics and Product Quality. *Drying Technology*. 2002. 20, P. 1559–1577. DOI: 10.1081/DRT-120014052.
17. Калетнік Г. М., Цуркан О. В. Особливості конструкції вібраційного обладнання для сушіння високоволової насінневої сировини. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2021. № 1 (100). С. 5–13.
18. Gurta Es Seyhan, F. Low temperature mushroom (*A. bisporus*) drying with desiccant dehumidifiers. *Drying Technology*. 2000. № 18. P. 433–445.
19. Lewicki P. P., Vu Le H., Perbaranska-Lazuka W. Effect of pretreatment on convective drying of tomatoes. *Journal of Food Engineering*. Vol. 54, 2002, P. 141–146.



20. Sahnia E. K., Chaudhuria B. Contact drying: A review of experimental and mechanistic modeling approaches. *International Journal of Pharmaceutics*, 2012. 434 (1–2), P. 334–348. DOI: 10.1016/j.ijpharm.2012.06.010.
21. Uthman F., Balogun A. L., Onipede E. A. Design, fabrication and testing of a biomass dryer. *Tetfund Sponsored Kwara State Polytechnic Journal of Research and Development Studies*, 2017. 5(1), P. 1–8.
22. Ayyappan and Mayilsamy. Experimental investigation on a solar tunnel drier for copra drying'. *Journal of Scientific & Industrial Research*. 2010, Vol. 69, P. 635–638.
23. Hitesh N Panchal & Dr. P. K. Shah. Effect of Varying Glass covers thickness on Performance of Solar still: in a Winter Climate Conditions. *International Journal of Renewable Energy Research*. 2011. Vol. 1, № 4, P. 212–223.
24. Turan A. Effect of drying methods on fatty acid profile and oil oxidation of hazelnut oil during storage. *Eur Food Res Technol*. 2018. DOI: 10.1007/s00217-018-3128-y
25. Яропуд В. М., Шаргородський С. А., Луц П. М., Лавренюк П. П. Симуляція процесу сушіння волоських горіхів у конвективній сушарці. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2022. № 3 (118). С. 101–109.

### References

- [1] Mezhenky, V.M. (2020). *Volos'kyi horikh (Juglans regia L.) [Walnut (Juglans regia L.)]*. Kyiv: Lira-K Publishing House. ISBN 978-617-520-015-5. [in Ukrainian].
- [2] Walnut production worldwide in 2021/22, by country. URL : <https://www.statista.com/statistics/675974/walnut-production-worldwide-by-ountry/>. [in English].
- [3] Sanchez-Gonzalez, C., Ciudad, C.J., Noe, V., Izquierdo-Pulido, M. (2015). Health benefits of walnut polyphenols: An exploration beyond their lipid profile. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57 (16), 3373–3383. [in English].
- [4] Caglarirmak, N. (2003). Biochemical and physical properties of some walnut genotypes (Juglans regia L.). *Food/Nahrung*, 47 (1), 28–32. [in English].
- [5] Amaral, J.S., Casal, S., Pereira, J.A., Seabra, R.M., Oliveira, B.P. (2003). P. Determination of Sterol and Fatty Acid Compositions, Oxidative Stability, and Nutritional Value of Six Walnut (Juglans regia L.). *Cultivars Grown in Portugal. J Agric Food Chem*. 17:51(26):7, 698–702. DOI: 10.1021/jf030451d. [in English].
- [6] Chen, X.D. (2007). Moisture diffusivity in food and biological materials. *Drying Technology*, 25, 1203–1213. [in English].
- [7] Saravacos, G. D. (2014). Mass Transfer Properties of Foods [WWW Document]. *Engineering Properties of Foods*. DOI: 10.1201/9781420028805-12. [in English].
- [8] Paziuk, V.M., Liubin, M.V., Yaropud, V.M., Tokarchuk, O.A., Tokarchuk, D.M. (2018). Research on the rational regimes of wheat seeds drying. *INMATEH - Agricultural Engineering*, 56 (3), 39–48. [in English].
- [9] Mujumdar, A.S. (2014). Handbook of Industrial Drying. *Fourth Edition, CRC Press, Boca Raton, FL*. [in English].
- [10] Mujumdar, A. S. (1987). *Advances in Drying. CRC Press, Boca Raton, FL*. [in English].
- [11] Devahastin, S., Mujumdar, A.S. (1999). Batch drying of grains in a well-mixed dryer-effect of continuous and stepwise change in drying air temperature. *Transactions of the ASAE*, 42, 421–425. DOI: 10.13031/2013.13373. [in English].
- [12] Ghatrehsamani, S.H., Zomorodian, A. (2012). Impacts of drying air temperature, bed depth and air flow rate on walnut drying rate in an indirect solar dryer. *International Journal of Agriculture Sciences*, 4 (6), 253–256. [in English].
- [13] Chen, C. (2020). Characteristics and mechanisms of walnut drying under hot air and infrared heating. Dissertation doctor of philosophy in biological systems engineering. *University of California. Davis*. [in English].
- [14] Hassan-Beygi, S.R., Aghbashlo, M., Kianmehr, M.H., Massah, J. (2009). Drying characteristics of walnut (Juglans regia L.) during convection drying. *International Agrophysics*, 23, 129–135. [in English].
- [15] Devahastin, S., Mujumdar, A.S. (1999). Batch drying of grains in a well-mixed dryer-effect of continuous and stepwise change in drying air temperature. *Transactions of the ASAE*, 42, 421–425. DOI: 10.13031/2013.13373. [in English].
- [16] Chua, K.J., Hawlader, M.N.A., Chou, S.K., Ho, J.C. (2002). On the Study of Time-Varying Temperature Drying-Effect on Drying Kinetics and Product Quality. *Drying Technology*, 20, 1559–1577. DOI: 10.1081/DRT-120014052. [in English].
- [17] Kaletnik, H.M., Tsurkan, O.V. (2021). Osoblyvosti konstruktsiyi vibratsiynoho obladnannya dlya sushynnya vysokovolohoyi nasynnyevoyi syrovyny [Design features of vibrating equipment for drying high-moist seed raw materials]. *Vibrations in engineering and technology*, 1 (100), 5–13. [in Ukrainian].
- [18] Gurta Es Seyhan, F. (2000). Low temperature mushroom (A. bisporus) drying with desiccant dehumidifiers. *Drying Technology*, 18, 433–445. [in English].
- [19] Lewicki, P.P., Vu Le, H., Perbaranska-Lazuka, W. (2002). Effect of pretreatment on convective drying





- of tomatoes. *Journal of Food Engineering*, 54, 141–146. [in English].
- [20] Sahnia, E.K., Chaudhuria, B. (2012). Contact drying: A review of experimental and mechanistic modeling approaches. *International Journal of Pharmaceutics*, 434 (1–2), 334–348. DOI: 10.1016/j.ijpharm.2012.06.010. [in English].
- [21] Uthman, F., Balogun, A.L., Onipede, E.A. (2017). Design, fabrication and testing of a biomass dryer. *Teffund Sponsored Kwara State Polytechnic Journal of Research and Development Studies*, 5(1), 1–8. [in English].
- [22] Ayyappan and Mayilsamy, (2010). Experimental investigation on a solar tunnel drier for copra drying. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 69, 635–638. [in English].
- [23] Hitesh N Panchal, Shah Dr. P. K., (2011). Effect of Varying Glass covers thickness on Performance of Solar still: in a Winter Climate Conditions. *International Journal of Renewable Energy Research*, 1 (4), 212–223. [in English].
- [24] Turan, A. (2018). Effect of drying methods on fatty acid profile and oil oxidation of hazelnut oil during storage. *Eur Food Res Technol*. DOI: 10.1007/s00217-018-3128-y. [in English].
- [25] Yaropud, V.M., Sharhorods'kyu, S.A., Luts, P.M., Lavrenyuk, P.P. (2022). Symulyatsiya protsesu sushynnya volos'kykh horikhiv u konvektyvnyi sushartsi [Simulation of the process of drying walnuts in a convective dryer]. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK*, 3 (118), 101–109. [in Ukrainian].

### WAYS OF IMPROVING THE DESIGN OF THE WALNUT CONVECTIVE DRYER

*Walnuts belong to the products most exposed to the risk of oxidative deterioration at the stages of storage, transportation and sale. At the same time, it should be taken into account that specific botanical varieties grown in different geographical regions have an individual chemical composition that determines the intensity of the ongoing oxidation processes, therefore nuts of different batches have different potential for storage. The lack of a system of traceability of purchased nut batches at the stages of production, logistics and sale, as well as the lack of objective methods for assessing the potential level of preservation, which leads to the incorrect establishment of the expiration dates of walnuts, and as a result, more than 30% are sold in trade networks walnuts with signs of bitterness.*

*The quality of nuts during storage depends mainly on the moisture content, storage temperature, relative humidity, oxygen content level, commercial type of nuts, packaging materials, storage form and type of technological processing of nuts (without shell, in shell, fried, etc.). Nuts are products of long-term storage.*

*The purpose of the research is a comprehensive analysis of the operation of modern convective dryers of agricultural raw materials and the determination of ways to improve them to ensure high-quality and uniform drying.*

*According to the results of the analysis of the existing drying units, their disadvantages and advantages were determined.*

*The peculiarities of the application of hopper dryers in various production lines among industrial goods, food products, and construction materials that require mixing of bulk products are analyzed. The use of these dryers has shown high reliability in operation when drying significant volumes of raw materials, absence of stagnant zones, high efficiency of the process and automation of the entire technological process of drying.*

*In order to intensify the process of convective drying, it is necessary to improve the heat and mass transfer both inside and outside the raw material, an increase in the drying temperature will inevitably lead to overheating of the product and loss of biologically useful substances, so one of the ways to increase the drying speed can be the use of mixing devices and devices, installed inside the drying chamber.*

**Key words:** process, parameters, research, drying, walnut, convection, dryer.

**Fig. 12. Ref. 25.**

### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

**Яропуд Віталій Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри машин та обладнання сільськогосподарського виробництва Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: yaropud77@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0502-1356>).

**Лавренюк Петро Петрович** – аспірант кафедри «Машин та обладнання сільськогосподарського виробництва» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: lavreniuk.petro.1239@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2480-7365>).

**Vitalii Yaropud** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of machinery and equipment for agricultural production of Vinnytsia National Agrarian University (St. Soniachna, 3, Vinnytsia, Ukraine, 21008, e-mail: yaropud77@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0502-1356>).

**Petro Lavreniuk** – Postgraduate student of the Department of machinery and equipment for agricultural production of Vinnytsia National Agrarian University (3 Soniachna Street, Vinnytsia, 21008, Ukraine, e-mail: lavreniuk.petro.1239@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2480-7365>).