

**Цуркан О. В.**

д.т.н., професор

Спирін А. В.

к.т.н., доцент

**Відокремлений
структурний підрозділ
«Ладжинський фаховий
коледж ВНАУ»**

Твердохліб І. В.

к.т.н., доцент

Дідик А. М.

аспірант

**Вінницький національний
аграрний університет**

Tsurkan O.Doctor of Technical Sciences,
Professor**Spirin A.**Ph.D. of Engineering, Associate
Professor

**Separated structural unit
«Ladyzhyn Professional
College of Vinnytsia
National Agrarian
University»**

Tverdokhlib I.Ph.D. of Engineering, Associate
Professor**Didyk A.**

postgraduate student

**Vinnytsia National Agrarian
University**

УДК 631.358**DOI: 10.37128/2306-8744-2023-2-1**

ОБҐРУНТУВАННЯ СПОСОБУ СУШІННЯ ВОЛОСЬКИХ ГОРІХІВ

Необхідною умовою отримання волоського горіху високої якості є його своєчасне сушіння з доведенням до кондиційної вологості зі збереженням необхідної якості продукту. Наразі в Україні не існує достатньої кількості високоефективних ліній для промислової переробки волоських горіхів. Основною проблемою є саме відсутність високопродуктивного, енергоефективного сушильного обладнання. На практиці для промислового сушіння волоських горіхів застосовують сушарки різноманітних конструкцій. Вибір сушильного обладнання залежить від цілого ряду факторів, таких як об'єм продукції, метеорологічні умови під час збирання, доступність енергоресурсів тощо. Для сушіння волоських горіхів в більшості випадків використовуються два типи сушарок – конвективні та радіаційні. Конвективні сушарки мають суттєву перевагу з точки зору можливості інтенсифікації процесу сушіння. Одним з можливих шляхів інтенсифікації процесу є застосування вібраційної дії для зменшення аеродинамічного опору шару матеріалу, що позитивно впливає на енергетичні показники процесу, та збільшення рівномірності вологості матеріалу що сушиться. Авторами запропонована конструктивна схема конвективно-вібраційної сушарки яка дозволить органічно поєднати в собі переваги конвективного способу сушіння з можливістю інтенсифікації процесу шляхом вібраційного впливу на шар матеріалу. Конструкція сушильної установки дозволяє легко керувати основними режимними параметрами її роботи: витратою та температурою сушильного агенту, а також параметрами вібраційного впливу – частотою та амплітудою коливання сушильного контейнера. Це дуже важливо для практичної реалізації процесу сушки горіхів. Адже раціональний підбір цих параметрів дозволить реалізувати процес сушіння волоських горіхів з максимальною ефективністю.

Практична реалізація процесу сушіння волоських горіхів в шкаралупі на даній сушарці підтвердить інноваційні підходи закладені в її конструкцію.

Ключові слова: волоські горіхи, процес сушіння, енергоефективність, вологість, вібраційна сушарка.

Постановка проблеми. Горіхи –це один з найкорисніших натуральних продуктів. В природі їх досить велика кількість видів, і в кожного є свої особливості.

В Україні найбільш розповсюдженим видом є волоські горіхи. Їх ядра насичені білком, амінокислотами, вітамінами та мінералами ,

йодом тощо. Горіхи споживають в чистому виді та в якості компонентів препаратів для лікування різноманітних хвороб , та як профілактичний засіб. Як харчовий продукт волоський горіх використовується в м'ясних та рибних стравах, салатах, соусах , випічці тощо [1].



Україна є одним з провідних виробників волоського горіху, в сезоні 2021-22 року вона була четвертою серед країн-експортерів цієї продукції [2]. Але волоський горіх, який пропонують українські експортери, на жаль, є переважно не сортовим і постачається в шкаралупі. Для наближення до якості сортового волоського горіху преміальної якості, необхідно приділяти увагу саме його переробці та сортуванню.

Отримання горіху високої якості, безумовно, залежить від всіх технологічних операцій процесу його переробки. Але чи не найважливішу роль відіграє процес його сушіння. Адже при збиранні вологість горіхів досягає 45%, тоді як кондиційний горіх згідно ДСТУ 8900:2019 повинен мати вологість 10% [3]. Несвоєчасне проведення операції сушіння може сприяти створенню умов для розвитку мікробіологічних та ферментативних процесів, що призведуть до зниження якості продукції. Окрім того, вчасне та якісне проведення операції сушіння забезпечує високоєфективне проведення наступної технологічної операції – лущення, та подальших дій з метою отримання ядра волоського горіху необхідної якості.

Наразі в Україні не існує достатньої кількості високоєфективних ліній для промислової переробки волоських горіхів. Основною проблемою є саме відсутність високопродуктивного, енергоефективного сушильного обладнання. Наприклад, виробник пропонує лінію з переробки горіхів, але вже висушених до кондиційної вологоти, без ураження хворобами тощо [4]. Навіть такий, здавалось би незначний факт ще раз підтверджує важливість саме операції сушіння горіхів в процесі їх переробки та підготовки до зберігання і транспортування.

Тому вибір способу сушіння горіхів і засобів для його реалізації наразі є актуальним для розвитку цієї перспективної галузі. Саме цьому питанню й присвячена дана стаття.

Аналіз останніх досліджень. При незначних обсягах виробництва волоських горіхів для сушіння часто використовують звичайні електродуховки, шафи, а при більших обсягах сушать його на сонці, використовуючи всілякі підручні засоби, як от ящики, піддони тощо, або просто на майданчиках з твердим покриттям [5].

Звичайно, такий спосіб сушіння не може бути рекомендований для господарств, які мають значний обсяг продукції, який може сягати декількох тон і більше.

Для господарств які мають значний обсяг вирощених волоських горіхів можна рекомендувати сушарки різної продуктивності, як вітчизняні, так і імпорتنі, що широко представлені на сучасному ринку. Наприклад, широкий спектр такого обладнання представлений на сайті [6].

Загальний вигляд такої бункерної сушарки представлений на рис.1.

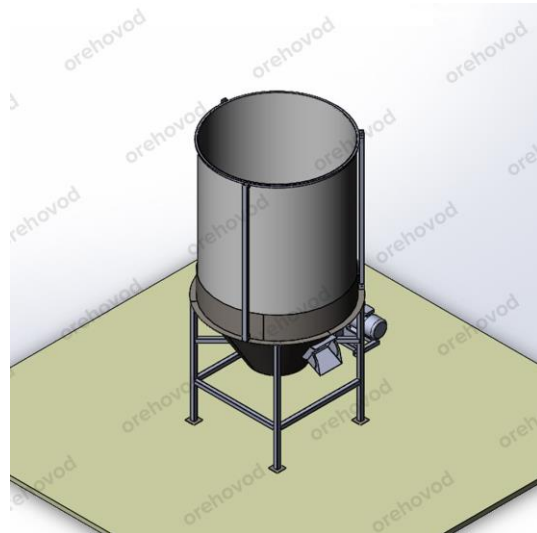


Рис. 1. Сушарка для горіха і фундука

На жаль, сушарки даного типу мають суттєвий недолік – вони не забезпечують рівномірність висушування продукту по висоті нерухомого шару в бункері. Саме нерухомість шару матеріалу та одностороння подача теплоносія призводить до значної різниці вологості нижніх та верхніх шарів матеріалу. Цей недолік проявляється при сушінні різних матеріалів, навіть більш однорідних за розмірами та структурою ніж горіх. А для горіху, у якого ці показники мають широкий діапазон варіювання (наприклад, початкова вологість шкаралупи, ядра та перетинок відрізняється на 15% і більше) ця нерівномірність буде явно негативно впливати на якісні показники процесу сушіння.

На ринку представлені також зарубіжні фірми з більш досконалим сушильним обладнанням. Наприклад, спеціально для сушіння горіхів німецька фірма "Feucht-Obsttechnik" розробила багаторівневу сушильну шафу "Multi-level" яка представлена на рис.2 [7].

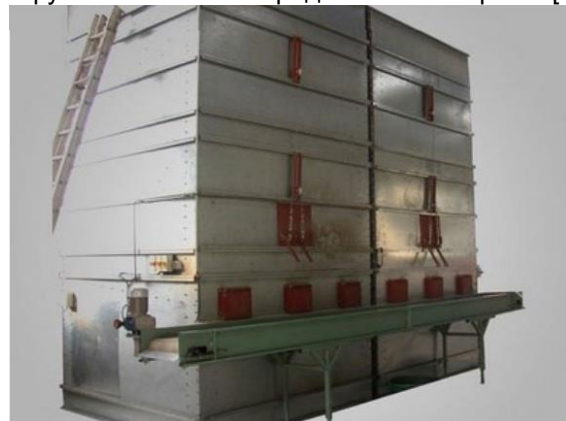
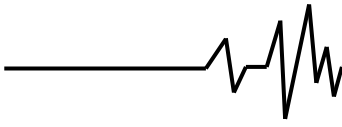


Рис. 2. Обладнання для сушіння горіхів у шкаралупі "Multi-level"



Дане обладнання забезпечує більш високу однорідність продукту по вологості в порівнянні з бункерною сушаркою. Рівномірність горіхів по вологості забезпечується їх постійним переміщенням. Попереднє сушіння проводиться на верхніх рівнях, а остаточне – на нижніх. Для інтенсифікації процесу сушіння шафа може бути додатково оснащена шнековим або відцентровим змішувачем. На жаль, це досить непогане за технологічними показниками сушильне обладнання має суттєвий недолік що притаманний любому імпортованому обладнанню – завищено, як на теперішні умови України, ціну.

Аналіз роботи цих двох типових представників сушильного обладнання для волоських горіхів окреслює напрямки подальшої роботи по вдосконаленню процесу, підвищенню якості готової продукції та його енергоефективності.

Мета роботи. Метою роботи є підвищення ефективності процесу сушіння волоських горіхів шляхом вибору способу сушіння та засобів для його реалізації.

Виклад основного матеріалу. При виборі способу сушіння, засобів його реалізації та раціональних конструктивно-технологічних параметрів роботи обладнання потрібно враховувати значну кількість вхідних факторів. Перш за все, це кількісні та якісні характеристики матеріалу, а також наявність ресурсів: енергетичних, фінансових, транспортних тощо.

При вирішенні поставленої мети першочерговим завданням є визначення саме характеристик матеріалу, від яких залежать всі інші фактори. Характеристики процесу сушіння значною мірою залежать від форми зв'язку вологи з матеріалом. Саме за формою зв'язку вологи з матеріалом вони, як об'єкти сушки, поділяються на капілярні, пористі, колоїдні та їх комбінації. У праці [8] наведена класифікація форм зв'язку вологи з матеріалом і вказано що, зокрема, всі рослинні матеріали відносяться до капілярно-пористих колоїдних тіл.

Саме до цих тіл відносяться матеріали, в яких волога має різні форми зв'язку, які присутні як у капілярно-пористих, так і в колоїдних тілах. Волоські горіхи в шкаралупі відносяться саме до такої категорії тіл.

Аналіз властивостей капілярно-пористих колоїдних тіл показує, що важко провести межі між окремими видами вологи і їх зв'язком з твердим скелетом. Природа утворення різних видів зв'язку вологи обумовлює механізм її видалення при сушінні. Так, для видалення адсорбційно зв'язаної вологи її необхідно всередині матеріалу перетворити в пару, після чого вона почне переміщуватись на поверхню матеріалу. Волога набування більшою частиною переміщається всередині матеріалу у вигляді рідини шляхом дифузії через стінки клітин. В залежності від

режиму процесу капілярна волога переміщується як у вигляді рідини (за рахунок капілярних сил), так і у вигляді пари (за рахунок різних тисків).

З точки зору об'єкта сушіння волоський горіх являє собою доволі складну систему, яка має як мінімум три основні елементи пов'язані між собою внутрішніми зв'язками: шкаралупа, ядро і серцевина. Вони значно відрізняються між собою за фізико-механічними властивостями, в тому числі різною структурою і вологістю. Так, згідно [9] при початковій вологості маса шкаралупи становить 60% від загальної маси горіху, ядра – 38,5% і серцевини – 1,5%. Відрізняються між собою і початкові вологості компонентів: у шкаралупи вона сягає 35%, в той час як у ядра – 27%, у серцевини – 25%. Початкова щільність шкаралупи сягає 860 кг/м³, у ядра – 740 і серцевини – 590 кг/м³. Така різниця у фізико-механічних і теплофізичних властивостях, різниця у внутрішній структурі компонентів, різні форми зв'язку вологи із скелетом структурних елементів обумовлюють складність теоретичного та експериментального вивчення процесу сушіння волоського горіху, реалізацію цього процесу в промислових масштабах.

Ще одним важливим фактором, який значною мірою впливає на якісні, технологічні та енергетичні показники процесу сушіння, є температура нагріву матеріалу. Вона обумовлює потрібні параметри джерела енергії, спосіб передачі її від джерела до матеріалу, впливає на конструктивні і технологічні особливості сушарки. Температура нагріву матеріалу зумовлює збереження його якісних показників. Для кожного рослинного сільськогосподарського матеріалу, в тому числі і для волоських горіхів, існує своє граничне допустиме значення температури нагрівання, при якій не погіршуються його якісні показники. Питання термостійкості, яке обумовлює інтенсифікацію процесу сушіння, є одним із головних при виборі способу сушіння.

Як видно із аналізу попередніх досліджень, для сушіння волоських горіхів в більшості випадків використовуються два типи сушарок – конвективні та радіаційні. При виборі сушарки для конкретних умов виробництва беруть до уваги максимальну кількість факторів що характеризують ту або іншу систему сушіння. Кожна з них, звичайно, має свої недоліки та переваги. Чи не найголовнішим з них є можливість інтенсифікації процесу сушіння даним типом системи. З цієї точки зору конвективні сушарки мають значну перевагу над іншими типами сушильних систем. Адже на відміну, наприклад, від радіаційних сушарок де потік променевої енергії безпосередньо взаємодіє лише з верхнім шаром матеріалу, в конвективних сушарках потік теплоносія контактує з усіма шарами матеріалу що розкриває більше можливостей для інтенсифікації процесу. Адже в радіаційних



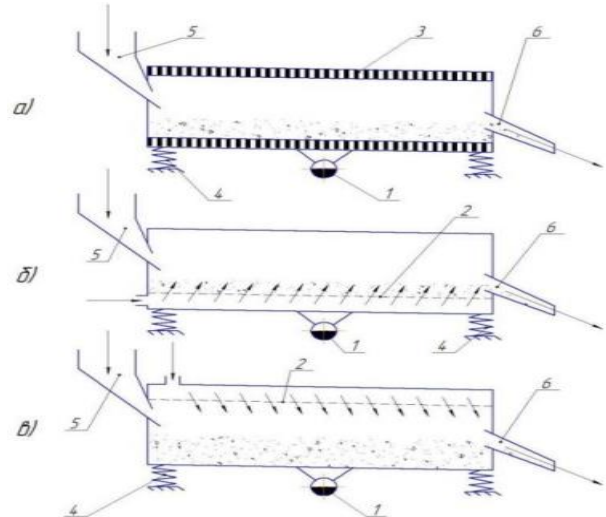
сушарках практично єдиним шляхом інтенсифікації процесу є підвищення температури що має певні обмеження через небезпеку перегріву матеріалу.

Отже, основним засобом для сушіння волоських горіхів в промислових масштабах може бути сушарка конвективної дії з реальною можливістю інтенсифікації процесу без зниження якості кінцевого матеріалу. Саме конвективні сушарки дають змогу реалізувати сушіння волоських горіхів з необхідною якістю матеріалу та можливістю інтенсифікації процесу сушіння в конкретних виробничих умовах.

Останнім часом все більше уваги звертається саме на інтенсифікацію технологічних процесів, в тому числі і сушіння сільськогосподарської продукції. Адже зменшення затрат енергії на виконання технологічного процесу значно збільшує прибутковість виробництва.

Одна з найповніших класифікацій способів та засобів інтенсифікації процесу сушіння наведена в [10]. Зокрема, серед заходів з інтенсифікації процесу сушіння там присутні наступні: вібрація, акустична дія; електричні та магнітні поля; зниження вологовмісту теплоносія; перемішування зерна; зниження тиску теплоносія; зміна швидкості теплоносія; зменшення товщини шару зерна; зміна швидкості руху зерна. Звичайно, в одній сушильній системі неможливо реалізувати зразу всі або більшість з названих заходів. Але частину з них можна застосувати виходячи з конкретних умов виробництва. Для виробничих умов сушіння великих партій волоських горіхів привабливим видається застосування вібраційного впливу разом з конвективним теплообміном між матеріалом і теплоносієм в якості якого виступає підігріте повітря. Вібраційний вплив на матеріал дозволяє застосувати одночасно декілька із вищеназваних заходів. Адже при вібраційному впливі на матеріал зменшується щільність його шару, можна вважати що суцільний нерухомий шар перетворюється на певну кількість шарів меншої товщини. При цьому зменшується аеродинамічний опір цих шарів, збільшується швидкість теплоносія, а отже збільшується і коефіцієнт теплообміну між матеріалом та теплоносієм. Всі ці фактори сприяють збільшенню продуктивності та енергетичної ефективності процесу сушіння.

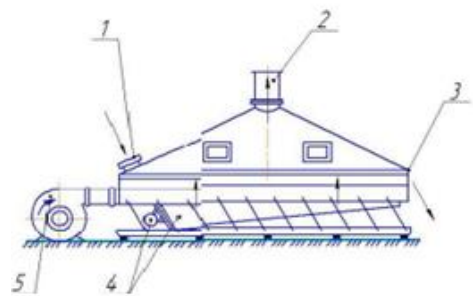
Вібраційний вплив на матеріал створює так званий віброкиплячий (або квазікиплячий) шар, який сприяє інтенсифікації зовнішнього та внутрішнього тепло- і масообміну. Існує чимало принципових схем створення віброкиплячого шару в сушильних установках, деякі з них представлені на рис.3 [11].



а – від віброуючої поверхні; б – від віброуючої поверхні з нижнім подаванням сушильного агента; в – від віброуючої поверхні з верхнім подаванням сушильного агента; 1 – віброзбуджувач; 2 – перфороване днище; 3 – нагрівальний елемент; 4 – пружний елемент; 5 – завантажувальний бункер; 6 – вивантажувальний лоток

Рис. 3. Схеми створення віброкиплячого шару

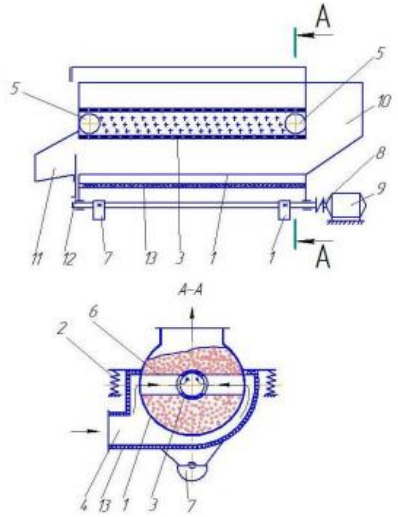
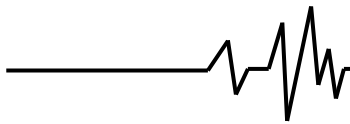
Дані принципові схеми реалізуються в реальні сушарки з віброкиплячим шаром. Так, наприклад, схема б з рис.3 реалізована в сушарці німецької фірми «Ешервіс» [12], яка представлена на рис.4.



1 – завантажувальний отвір; 2 – витяжний канал; 3 – вихідний отвір; 4 – віброзбуджувач; 5 – вентилятор

Рис. 4. Сушильний агрегат з коливним конвесором і киплячим шаром

Звичайно, конструкцій вібраційних сушарок існує досить багато, всі їх розглянути неможливо, але хотілось би звернути увагу на цікаву машину яка поєднує в собі декілька технологічних підходів: конвективний та кондуктивний підведення теплоти до матеріалу та вібраційний вплив на нього [13]. Схема даної сушарки представлена на рис.5.



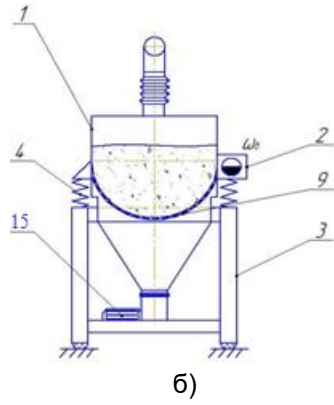
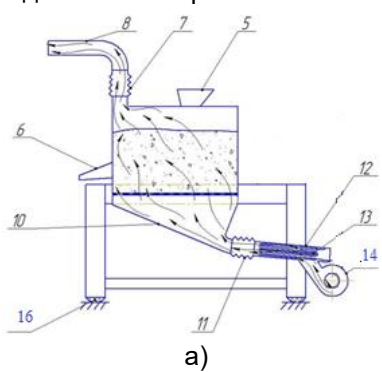
1 – сушильна камера; 2 – пружня підвіска;
3 – пустотілий циліндр; 4 – газовідвідний короб;
5 – вікно; 6 – перетічний канал; 7 – вібратор;
8 – пружня муфта; 9 – електродвигун;
10 – завантажувальний отвір; 11 – розвантажувальний лоток; 12 – шибер; 13 – теплоізоляція

Рис. 5. Схема вібраційної сушарки з конвективно-кондуктивним підведенням тепла

Оригінальне поєднання кондуктивної та конвективної подачі тепла дозволяє інтенсифікувати процес сушіння, а необхідна жорсткість конструкції дозволяє успішно застосувати також і вібраційну дію на матеріал.

Наведені приклади наочно демонструють перспективність застосування вібраційної дії на матеріал під час сушіння. Але, звичайно, не може бути якоїсь універсальної схеми вібраційної сушильної установки, яку б можна було застосувати для більшості технологічних випадків. В кожному конкретному випадку (який характеризується великою кількістю вхідних факторів : матеріал сушки, наявність енергоресурсів, метеоумови тощо) потрібно вибирати схему установки, яка дозволить реалізувати технологічний процес з максимальною ефективністю.

Для сушіння волоських горіхів у шкаралупі пропонується вібраційна сушарка конструктивна схема якої представлена на рис.6.

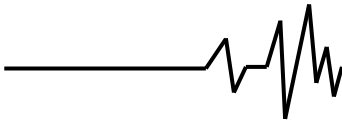


а – вигляд спереду; б – вигляд збоку;
1 – U-подібна камера; 2 – вібратор;
3 – рама; 4 – пружини; 5 – завантажувальний лоток; 6 – розвантажувальний лоток; 7, 11 – еластичні з'єднання; 8 – повітропровід для виведення відпрацьованого повітря; 9 – повітропровід; 13 – електричні нагрівальні елементи; 14 – вентилятор; 15 – електродвигун; 16 – гумові опори

Рис. 6. Конструктивна схема вібраційної машини для сушіння волоських горіхів

Характерною особливістю даної установки є U-подібний контейнер (камера) в який завантажуються вологі горіхи, а також елементи призначені для створення вібраційного поля: вібратор 2 який складається з електродвигуна з дебалансом, та гумові опори 16. Дана форма сушильної камери дозволяє значно зменшити об'єм застійних зон при продуванні шару горіхів сушильним агентом, яким слугує підігріте в калорифері 13 повітря. Дана конструкція сушильної установки дозволяє легко керувати основними режимними параметрами її роботи: витратою та температурою сушильного агента, а також параметрами вібраційного впливу – частотою та амплітудою коливання сушильного контейнера. Це дуже важливо для практичної реалізації процесу сушки горіхів. Адаже раціональний підбір цих параметрів дозволить реалізувати процес сушіння волоських горіхів з максимальною ефективністю.

Саме наведена конструкція сушильної установки поєднує в собі всі переваги конвективно-вібраційного способу сушіння. Адаже, як ми вже відмічали, саме сушарки з конвективним підведенням тепла є найбільш розповсюдженими в сільському господарстві саме завдяки найвищій енергетичній ефективності, відносній простоті конструкції, надійності в роботі тощо. А в даному випадку до цих позитивних рис конвективних сушарок додається ефект інтенсифікації процесу завдяки вібраційній дії на шар матеріалу. Автори мають надію що практична реалізація процесу сушіння волоських горіхів в шкаралупі на даній



сушарці підтвердить інноваційні підходи закладені в її конструкцію.

Висновки:

1. Значна різниця у фізико-механічних і теплофізичних властивостях та різниця у внутрішній структурі компонентів, різні форми зв'язку вологи із скелетом структурних елементів обумовлюють складність теоретичного та експериментального вивчення процесу сушіння волоського горіху, реалізацію цього процесу в промислових масштабах.

2. Основним засобом для сушіння волоських горіхів в промислових масштабах повинна бути сушарка конвективної дії з реальною можливістю інтенсифікації процесу без зниження якості кінцевого матеріалу.

3. Запропонована конструкція конвективно-вібраційної сушарки яка дозволить органічно поєднати в собі переваги конвективного способу сушіння з можливістю інтенсифікації процесу шляхом вібраційного впливу на шар матеріалу.

Список використаних джерел

1. Користь горіхів [Електронний ресурс].- Режим доступу: <http://delikatto.com.ua/korust-horihiv> (дата звернення 25.04.2023)
2. Руткевич В., Дідик А. Огляд методів та засобів для сушіння волоського горіха в шкарлупі. *Вісник Хмельницького національного університету Серія: Технічні науки.* 2023. № 1 (317). С. 230-236.
3. ДСТУ 8900:2019 Горіхи волоськи. Технічні умови [Електронний ресурс].- Режим доступу: <http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc> (дата звернення 26.04.2023)
4. Промислова лінія з переробки горіха із вбудованою аспірацією (100 кг/год) [Електронний ресурс].- Режим доступу: <http://dommotoblok.com.ua/ua/p1726478079> (дата звернення 24.04.2023)
5. Як сушити волоські горіхи в домашніх умовах [Електронний ресурс].- Режим доступу: <http://barra.com.ua/?p=37426> (дата звернення 27.04.2023)
6. Сушарка для горіха і фундука (до 1,5 т/добу) [Електронний ресурс].- Режим доступу: <http://prom.ua/p1713098964> (дата звернення 28.04.2023)
7. Багаторівнева сушильна шафа [Електронний ресурс].- Режим доступу: <http://obsttechnik.com/sushka-greetskogo-oreha> (дата звернення 28.04.2023)
8. В.В. Тичков, В.Я. Гальченко, Р.В. Трембовецька, З.В. Бондарчук Автоматизація виробничих процесів. Дифузійні процеси (обладнання для сушіння) : Навчально-методичний посібник.- Черкаси. ЧДТУ, 2018.- 179 с.

9. Полевода Ю.А., Твердохліб І.В. Визначення фізико-механічних параметрів шкаралупи волоського горіха. *Вібрації в техніці та технологіях* 2019. №2(93). С.12-17.

10. Пазюк О.Д., Паламарчук І.П., Пазюк В.М. Оптимізація процесу сушіння зерна. Задачі та шляхи вирішення. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки.* №9 2011 р.С.164-172.

11. Цуркан О.В. Аналіз вібраційних технічних засобів для сушіння насіння гарбуза. *Вібрації в техніці та технологіях.* 2021. №4(103). С.5-14.

12. Конструкції сушарок. URL: <http://www.studopedia.info/1-114389.html> (дата звернення: 25.05.2023).

13. Патент на корисну модель. Вібраційна сушарка для дисперсних матеріалів № 566107. Публікація відомостей 25.07.87. Бюл. № 27.

References

1. The benefits of nuts [Electronic resource].- Access mode: <http://delikatto.com.ua/korust-horihiv> (access date 04/25/2023)
2. Rutkevich V., Didyk A. Review of methods and means for drying walnut in shell. Bulletin of the Khmelnytskyi National University Series: Technical Sciences. 2023. No. 1 (317). P. 230-236.
3. DSTU 8900:2019 Hair nuts. Technical conditions [Electronic resource].- Access mode: <http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc> (access date 04/26/2023)
4. Industrial nut processing line with built-in aspiration (100 kg/h) [Electronic resource].- Access mode: <http://dommotoblok.com.ua/ua/p1726478079> (access date 04/24/2023)
5. How to dry walnuts at home [Electronic resource].- Access mode: <http://barra.com.ua/?p=37426> (access date 04/27/2023)
6. Dryer for nuts and hazelnuts (up to 1.5 t/day) [Electronic resource]. - Access mode: <http://prom.ua/p1713098964> (access date 04/28/2023)
7. Multi-level drying plant [Electronic resource].- Access mode: <http://obsttechnik.com/sushka-greetskogo-oreha> (access date 04/28/2023)
8. V.V. Tychkov, V.Ya. Galchenko, R.V. Trembovetska, Z.V. Bondarchuk Automation of production processes. Diffusion processes (drying equipment): Educational and methodological manual.- Cherkasy. ChDTU, 2018. - 179 p.
9. Polevoda Yu.A., Tverdokhlib I.V. Determination of physical and mechanical parameters of walnut shell. Vibrations in engineering and technology 2019. No. 2(93). P.12-17.
10. Pazyuk O.D., Palamarchuk I.P., Pazyuk V.M. Optimization of the grain drying process. Problems and solutions. Collection of scientific works of



the Vinnytsia National Agrarian University. Series: Technical sciences. No. 9 of 2011, pp. 164-172.

11. Tsurkan O.V. Analysis of vibrating technical means for drying pumpkin seeds. *Vibrations in engineering and technology*. 2021. No. 4(103). P.5-14.

12. Designs of dryers. URL: <http://www.studopedia.info/1-114389.html> (access date: 05/25/2023).

13. Utility model patent. Vibrating dryer for dispersed materials. No. 566107. Publication of information on 07/25/87. Bul. No. 27.

JUSTIFICATION OF THE METHOD OF DRYING WALNUTS

A necessary condition for obtaining a high-quality walnut is its timely drying with bringing it to the standard humidity while maintaining the required quality of the product. Currently, Ukraine does not have a sufficient number of highly efficient lines for the industrial processing of walnuts. The main problem is precisely the lack of high-performance, energy-efficient drying equipment. In practice, dryers of various designs are used for industrial drying of walnuts. The choice of drying equipment depends on a number of factors, such as the volume of products, meteorological conditions during harvesting, availability of energy

resources, etc. In most cases, two types of dryers are used for drying walnuts - convective and radiation. Convective dryers have a significant advantage in terms of the possibility of intensifying the drying process. One of the possible ways of intensifying the process is the use of vibration to reduce the aerodynamic resistance of the material layer, which has a positive effect on the energy indicators of the process, and to increase the uniformity of the moisture content of the drying material. The authors proposed a design scheme of a convective-vibration dryer that will organically combine the advantages of the convective drying method with the possibility of intensification of the process through the vibration effect on the material layer. The design of the drying unit allows you to easily control the main mode parameters of its operation: the flow rate and temperature of the drying agent, as well as the parameters of the vibration effect - the frequency and amplitude of the oscillation of the drying container. This is very important for the practical implementation of the nut drying process. After all, the rational selection of these parameters will allow the process of drying walnuts to be implemented with maximum efficiency.

The practical implementation of the process of drying walnuts in the shell on this dryer will confirm the innovative approaches included in its design.

Key words: walnuts, drying process, energy efficiency, humidity, vibration dryer.

Відомості про авторів

Цуркан Олег Васильович – доктор технічних наук, професор кафедри технологічних процесів та обладнання переробних і харчових виробництв інженерно-технологічного факультету Вінницького національного аграрного університету, директор Відокремленого структурного підрозділу «Ладизжинський фаховий коледж Вінницького національного аграрного університету» (вул. П. Кравчика, 5, м. Ладизжин, Вінницька обл., 24321, Україна, e-mail: tsurkan_ov76@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-7218-0026>).

Tsurkan Oleh – D.Eng.Sc., professor of the Department of technological processes and equipment of processing and food industries of Faculty of Engineering and Technology of Vinnytsia National Agrarian University, director of Separated structural unit «Ladyzhyn Professional College of Vinnytsia National Agrarian University» (5, P. Kravchyka St., Ladyzhyn, Vinnytsia region, 24321

Спирін Анатолій Володимирович – кандидат технічних наук, доцент викладач відокремленого структурного підрозділу «Ладизжинський фаховий коледж Вінницького національного аграрного університету», e-mail: spirinanatoly16@gmail.com.

Spirin Anatoly - candidate of technical sciences, associate professor, teacher of Separate structural subdivision «Ladyzhyn vocational college of Vinnytsia National Agrarian University» (Kravchik Petro St., 5, Ladyzhyn, Vinnytsia Region, Ukraine, 24321, e-mail: spirinanatoly16@gmail.com).

Твердохліб Ігор Вікторович – кандидат технічних наук, доцент кафедри загальнотехнічних дисциплін та охорони праці Вінницького національного аграрного університету: м. Вінниця, вул. Сонячна 3, ВНАУ, 21008, e-mail: igor_tverdokhlib@yahoo.com.

Tverdokhlib Igor – candidate of technical sciences, associate professor of the department of general technical disciplines and occupational safety, Vinnytsia National Agrarian University: Vinnytsia, st. Sonyachna 3, VNAU, 21008, e-mail: igor_tverdokhlib@yahoo.com.

Дідик Андрій Михайлович – аспірант кафедри технологічних процесів та обладнання переробних та харчових виробництв Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, +380972830537, anddidyk99@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0524-0017>).

Didyk Andrii – postgraduate student of the Department of Technological Processes and Equipment of Processing and Food Production of Vinnytsia National Agrarian University (3 Sunny Street, Vinnytsia, 21008, Ukraine, +380972830537, anddidyk99@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0524-0017>).