

ВІДГУК

офіційного опонента, кандидата технічних наук, старшого дослідника, провідного наукового співробітника відділу механіко-технологічних проблем збирання і післязбиральної обробки урожаю зернових та олійних культур Інституту механіки та автоматики агропромислового виробництва НААН України на дисертацію Дідика Андрія Михайловича на тему «Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів вібраційної машини для сушіння волоських горіхів», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування (галузь знань 13 Механічна інженерія)

Актуальність обраної теми, її зв'язок з науковими програмами

Актуальність даного дослідження обумовлена необхідністю розробки технологічної лінії для глибокої переробки волоських горіхів. Вирішення цього завдання сприяє підвищенню експортного потенціалу цієї стратегічної культури, підвищенню ефективності функціонування аграрного сектору економіки держави.

Особливого значення набуває питання створення сушильного обладнання з високою енергоефективністю яке забезпечує достатню продуктивність та нормативну якість матеріалу. Використання вібраційної сушарки є перспективним напрямом, адже реалізація вібраційного впливу на шар матеріалу дає можливість знизити енергетичні витрати на процес сушіння, забезпечити прийнятні якісні показники роботи обладнання.

Розроблення ефективного сушильного обладнання наразі є актуальним питанням адже в більшості технологій переробки рослинної продукції витрати енергії на реалізацію процесу сушіння становлять майже половину всіх витрат. Сучасний рівень експлуатації сушильного обладнання потребує подальшого теоретичного обґрунтування та експериментального підтвердження раціональних конструкційно-технологічних параметрів роботи вібраційної сушарки.

Таким чином, розроблення конструкцій вібраційних сушарок і дослідження їх функціонування є актуальним завданням, яке відповідає потребам сучасного виробництва, спрямованим на підвищення енергоефективності та отримання продукції нормативної якості.

Дисертація Дідика А.М., метою якої є зменшення енергетичних витрат при забезпеченні встановлених показників якості сушіння волоських горіхів шляхом обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів вібраційної машини спрямована на вирішення вищезазначених проблем.

Дисертаційне дослідження виконано у Вінницькому національному аграрному університеті. Основні результати було отримано в межах виконання госпдоговірних тематик «Дослідження енергоефективного вібраційного обладнання для сушіння сільськогосподарської сировини» (№ РК 0122U201669, термін виконання: 11. 2022-12.2023 рр.), «Розробка технологічного та енергоефективного сушильного обладнання для сушіння волоських горіхів» (№ РК 0125U003355, термін виконання: 09.2025-09.2026 рр.) та прикладного наукового дослідження, яке виконується за рахунок коштів державного бюджету «Підвищення конкурентоспроможності аграрного сектора України у воєнний час шляхом інноваційного розвитку виробництва експортно-орієнтованих видів продукції» (№ РК 0224U000303, термін виконання 01.2024 -12.2025 рр.).

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій, сформульованих у дисертації

Наукові положення, висновки та рекомендації, наведені в дисертації, є достовірними і належним чином обґрунтованими. Автором проведені теоретичні та експериментальні дослідження з використанням розроблених та відомих методик, використані літературні джерела.

Висновки дисертації є достатньо обґрунтованими та підтверджені необхідною кількістю експериментальних досліджень, що проведені як в лабораторних, так і у виробничих умовах.

У першому висновку на основі аналізу існуючих машин для сушіння волоських горіхів, а також результатів теоретичних і експериментальних досліджень, обґрунтовано доцільність застосування вібраційного впливу на шар горіхів з метою інтенсифікації процесу сушіння. Розроблена принципова схема вібраційної машини та підібрано обладнання для реалізації процесу сушіння.

Другий висновок базується на розробці математичної моделі процесу сушіння, яка дозволяє визначати температуру ядра горіха в залежності від початкових умов і технологічних параметрів процесу. В моделі горіх представлений геометричною фігурою «куля в сфері» з негативними внутрішніми джерелами тепла. Математична модель отримана шляхом аналітичного розв'язання рівняння нестационарної теплопровідності з використанням перетворення Лапласа.

У третьому висновку наведені результати експериментальних досліджень фізико-механічних і теплофізичних властивостей волоських горіхів. Отримані значення еквівалентного діаметра та сферичності підтверджують правомірність прийнятого геометричного уявлення горіха у вигляді моделі «куля в сфері», а результати визначення теплофізичних характеристик узгоджуються з відомими закономірностями для колоїдних капілярно-пористих матеріалів.

Четвертий висновок підтверджений результатами розробки та виготовлення лабораторної моделі і дослідно-промислового зразка вібраційної машини. Обґрунтована встановлена потужність електрообладнання 27,5 кВт, в тому числі вентилятора – 1,5 кВт, обладнання для реалізації вібраційного впливу – 4 кВт, три групи теплонагріваючих елементів – дві по 6 кВт і третя група – 10 кВт. Третя група теплонагріваючих елементів є резервною, а перші дві групи працювали постійно.

У п'ятому висновку експериментально підтверджено висунуту гіпотезу щодо ефективності вібраційного впливу для інтенсифікації процесу сушіння. Коефіцієнт теплообміну із застосуванням вібраційного впливу більше, як без

нього на 20...27 % за однакових значеннях температури і швидкості сушильного агенту

Шостий висновок ґрунтується на результатах експериментальних досліджень та аналізу рівняння регресії, що дозволило визначити раціональні технологічні параметри процесу сушіння. За аналізу рівняння регресії визначили раціональні технологічні параметри: температура сушильного агенту 38°C, його швидкість 22,5 м/с, віброприскорення сушильної камери 65,6 м/с² за постійної амплітуди її коливань 6,5 мм.

У сьомому висновку підтверджено адекватність розробленої математичної моделі: розбіжність між теоретичними та експериментальними даними не перевищує 11 %, а середнє відхилення становить близько 5%. Це свідчить про високу точність моделі та можливість її використання для подальших досліджень та інженерних розрахунків.

Восьмий висновок підтверджений результатами виробничої перевірки дослідно-промислового зразка вібраційної машини, які показали зменшення питомих енергетичних витрат на 12...15% порівняно з сучасними конвективними сушарками. Проведена техніко-економічна оцінка засвідчила доцільність впровадження розробленої машини у виробництво, річний економічний ефект від її використання становить 184,5 тис. грн при терміні окупності капіталовкладень 2,2 роки.

Повнота викладу результатів дисертаційної роботи в опублікованих працях

Основні результати дисертаційної роботи опубліковано в 14 наукових працях, у тому числі: 1 у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у міжнародних наукометричних базах даних Scopus та/або Web of Science Core Collection; 8 статей в наукових фахових виданнях України (категорії Б); 2 патенти на корисну модель та 3 свідоцтва на авторське право на твір.

Опубліковані роботи повністю відображають основний зміст і результати, отримані у дисертаційній роботі.

Наукова новизна одержаних результатів та їх значення для науки та виробництва

У дисертаційній роботі отримано нові наукові результати, що мають суттєве значення для теорії та практики перебігу процесу сушіння у вібраційній машині.

Розроблено математичну модель нагрівання в процесі сушіння із визначенням температури ядра волоського горіха залежно від початкових умов, технологічних параметрів та експозиції сушіння шляхом аналітичного розв'язання диференційного рівняння нестационарної теплопровідності для геометричної фігури «куля в сфері» з негативними внутрішніми джерелами тепла, інтенсивність яких змінюється за експоненціальним законом.

Встановлена залежність впливу температури та швидкості сушильного агенту, віброприскорення сушильної камери на енергетичну ефективність технологічного процесу та взаємозв'язок між сумарною та поточною інтенсивністю внутрішніх джерел тепла.

Набула подальшого розвитку залежність теплофізичних характеристик матеріалу від форми зв'язку внутрішньої вологи з сухою речовиною.

Результати теоретичних і експериментальних досліджень лягли в основу технічних рішень для вибору конструкційно-технологічних параметрів дослідно-промислового зразка вібраційної машини для сушіння волоських горіхів, що забезпечує отримання матеріалу нормативної якості з мінімальними витратами енергії.

Розроблена конструкція дослідно-промислового зразка вібраційної машини для сушіння волоських горіхів пройшла виробничу перевірку на базі ГП «ЯФК ВІТОН» (Вінницька обл., Могилів-Подільський р-н., село Велика Кісниця, вул. Ринкова, буд. 4), а також передана для виготовлення дослідного зразка на підприємство ТОВ «Агромаш-Калина» (м. Калинівка, Вінницька область).

Результати досліджень впроваджені у навчальний процес освітньо-професійної програми «Агроінженерія» першого (бакалаврського) рівня вищої

момент часу залежно від початкових умов і технологічних параметрів. Для визначення закону зміни кількості енергії, що витрачається для випаровування вологи з матеріалу, використано поняття негативних внутрішніх джерел тепла, інтенсивність яких змінюється за експоненціальним законом. Наведені теоретичні основи визначення теплофізичних характеристик волоських горіхів. Основою є використання закономірностей нестационарного нагріву двох напівобмежених стрижнів, у місці дотику яких розташовано джерело тепла постійної потужності.

У третьому розділі наведено програму і методику експериментальних досліджень, опис вібраційної машини для сушіння волоських горіхів та вимірювальні прилади. Розроблені методики для визначення фізико-механічних характеристик волоських горіхів, зокрема, розмірно-вагові характеристики: еквівалентний діаметр горіха, коефіцієнт сферичності, коефіцієнт порозності шару горіхів, щільність дійсна та насипна. Розроблена методика, представлена схема та загальний вигляд установки для визначення теплофізичних характеристик волоських горіхів.

Описано методику визначення коефіцієнта теплообміну без вібраційного впливу та з урахуванням його. В якості факторів, які впливають на коефіцієнт теплообміну, вибрані: температура, швидкість сушильного агенту та віброприскорення за фіксованої амплітуди коливань камери 6,5 мм. Побудовано криві сушіння. Інтенсивність негативних внутрішніх джерел тепла охарактеризовано початковою інтенсивністю та коефіцієнтом зміни, для яких наведено розрахункові залежності. Також розроблено план-матрицю багатофакторного експерименту для визначення раціональних технологічних параметрів роботи вібраційної машини, планування експерименту та обробка даних проводилась за допомогою програми Mathematica 12.0, а критерієм оптимізації обрано питомі енерговитрати на випаровування 1 кг вологи.

В четвертому розділі приведено результати реалізації програми експериментальних досліджень. Визначені розмірно-вагові характеристики горіхів сорту «Chandler». Особливу цікавість викликає такий показник як

коефіцієнт сферичності, який становить 91,08 %, що є досить високим значенням. Були визначені залежності теплофізичних характеристик від вологості матеріалу. Характер цих залежностей є подібним до аналогічних залежностей інших рослинних матеріалів, тому що всі вони відносяться до колоїдних капілярно-пористих тіл. Коефіцієнт теплообміну із застосуванням вібраційного впливу більший на 20...27 %, ніж без застосування вібраційного впливу. В результаті експериментальних досліджень отримані формули для визначення основних показників, що характеризують інтенсивність негативних внутрішніх джерел тепла – початкової інтенсивності q_0 і коефіцієнта k_1 . Проведені дослід по визначенню раціональних технологічних параметрів процесу сушіння та отримано рівняння регресії. Аналіз рівняння регресії дав можливість визначити раціональні режимні параметри: температура сушильного агенту 38°C, його швидкість 22,5 м/с, віброприскорення сушильної камери 65,6 м/с² за постійної амплітуди її коливань 6,5 мм. Верифікація математичної моделі показала розбіжність між теоретичними та експериментальними даними не більше 11 %, а проведена статистична оцінка свідчить про адекватність розробленої математичної моделі процесу сушіння волоських горіхів.

У п'ятому розділі проведено техніко-економічну оцінку розробленого дослідно-промислового зразка вібраційної машини для сушіння волоських горіхів. Вона засвідчила його перевагу над базовою сушаркою. Річний економічний ефект становить 184 500 грн., а термін окупності капіталовкладень – 2,2 роки.

Відсутність порушення академічної доброчесності

Проведений аналіз дисертаційної роботи, авторських публікацій та перевірка на наявність запозичень з використанням відкритих інтернет-джерел не виявили ознак академічного плагіату. У дисертації здобувачем належним чином зазначені посилання як на власні праці, так і на роботи інших дослідників. Фактів фальсифікації або фабрикації матеріалів у роботі не

встановлено. Це дає можливість стверджувати, що у дисертаційній роботі Дідика Андрія Михайловича дотримано вимог академічної доброчесності.

Основні зауваження до дисертації

1. Зображена на рис. 1.11 схема є принциповою, так як для конструкційної схеми вібраційної машини для сушіння волоських горіхів необхідно вказати розміри.

2. У підрозділі 2.1.2 розглянуто не всі важливі теплофізичні властивості матеріалу, на мою думку, необхідно було розглянути рівноважну вологість волоських горіхів, коефіцієнт масообміну, коефіцієнт дифузії чи вологопровідності від шкарлупи до ядра, коефіцієнт конвективного теплообміну, як основні характеристики волоських горіхів, що впливають на процес сушіння.

3. Рівняння нестационарної теплопровідності (2.26) є рівнянням в частинних похідних, тому треба у рівнянні замість звичайної похідної d використовувати частинну ∂ .

4. Із залежності (2.27) випливає, що інтенсивність джерела тепла падає з часом до нуля у процесі сушіння за експоненціальним законом, хоча в реальних процесах внутрішнє негативне джерело тепла стабілізується на певному рівні (на що вказує рис. 4.8). Можливо краще було записати так: $q = q_0 \cdot e^{-k_1 \cdot \tau} + q_T$, де q_T – стабілізоване значення інтенсивності тепла негативних джерел.

5. Стверджується, що залежність (2.58) визначає температуру тіла у будь-якій точці у довільний момент експозиції сушіння τ , хоча у залежності (2.58) час τ не розглядається.

6. Експериментальні дослідження проводять на експериментальних установках. Після результатів виробничих випробувань конструкцію експериментальної установки вдосконалюють та створюють дослідний зразок. Тому, на мою думку, рис. 3.2 та 3.3 показано саме загальний вигляд

експериментальної установки вібраційної машини для сушіння волоських горіхів.

7. У підрозділі 3.3.1 не треба згадувати припущення для математичної моделі сушіння волоських горіхів (так як розділ 3 стосується методики проведення експериментальних досліджень). Це ж саме стосується підрозділів 3.3.2, 3.5, 4.2, 4.3, де краще зосередитись на опису методики та порівняння з результатами теоретичних досліджень, ніж наводити теоретичні викладки.

8. Як впливає товщина шару волоських горіхів у сушильній камері на показники процесу сушіння?

9. Хоча в меті дисертаційної роботи було задекларовано підвищення продуктивності та збереження якості за сушіння волоських горіхів, проте у результатах теоретичних та експериментальних досліджень матеріали по продуктивності сушіння та збереження якості волоських горіхів не приводяться.

10. В теоретичній частині роботи необхідно було б розглянути вплив віброприскорення $A \cdot \omega^2$ на коефіцієнт конвективного теплообміну волоських горіхів у шарі.

ВИСНОВОК

Дисертація «Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів вібраційної машини для сушіння волоських горіхів» є завершеною науково-дослідною роботою, в якій розв'язана конкретна наукова задача зменшення енергетичних витрат за забезпечення встановлених показників якості сушіння волоських горіхів шляхом обґрунтування конструкційно-режимних параметрів вібраційної машини, що має важливе значення для галузі знань 13 Механічна інженерія, відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації», вимогам постанови КМ України від 12 січня 2022 року № 44 «Порядок присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», а її автор Дідик Андрій Михайлович заслуговує

присудження йому ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування (галузь знань 13 Механічна інженерія).

Офіційний опонент:

кандидат технічних наук, старший дослідник,
провідний науковий співробітник
відділу механіко-технологічних проблем збирання
і післязбиральної обробки урожаю зернових та
олійних культур Інституту механіки та
автоматики агропромислового виробництва
НААН України



Віктор ШВИДЯ

Підпис Швиді В.О. засвідчую:

Учений секретар



Михайло ГРИЦИШИН