

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, доцента, провідного наукового співробітника наукового підрозділу тепломасопереносу в теплотехнологіях Інституту технічної теплофізики НАН України Пазюка Вадима Михайловича на дисертаційну роботу Дідика Андрія Михайловича на тему «Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів вібраційної машини для сушіння волоських горіхів», яку подано до спеціалізованої вченої ради у Вінницькому національному аграрному університеті на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування (галузь знань 13 Механічна інженерія)

1. Актуальність теми дисертації, її зв'язок з науковими програмами

В сучасних умовах України волоські горіхи є стратегічним продуктом, який може суттєво підвищити експортний потенціал аграрного сектору країни. Для переробки волоських горіхів розробляються сучасні технологічні лінії основною операцією є сушіння. Забезпечення енергоефективної реалізації цього процесу з отриманням продукції нормативної якості наразі є актуальною задачею.

Подана дисертаційна робота є своєчасною, а отримані наукові результати спрямовані на підвищення ефективності процесу сушіння волоських горіхів шляхом обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів вібраційної машини з урахуванням особливостей вібраційного впливу на шар матеріалу.

Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів вібраційної машини для сушіння волоських горіхів та дослідження впливу режимів її роботи на якість готової продукції та витрати енергії є актуальною науково-прикладною задачею, що має важливе теоретичне та практичне значення для забезпечення високої ефективності сушіння горіхів.

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.).

2. Ступінь обґрунтованості і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Наукові положення, висновки та рекомендації, викладені у дисертаційній роботі є належним чином обґрунтованими та достовірними. Достовірність результатів забезпечується комплексом виконаних теоретичних та експериментальних досліджень, застосуванням сучасних методів математичного моделювання, математичної фізики, а також коректним використанням методів математичної статистики для перевірки адекватності отриманих моделей.

Мета дослідження була послідовно реалізована шляхом вирішення восьми поставлених завдань, що знайшло підтвердження в загальних висновках роботи.

У першому загальному висновку автор на основі аналізу існуючих машин для сушіння волоських горіхів, результатів теоретичних та експериментальних досліджень, запропонував застосування вібраційного впливу на шар горіхів для інтенсифікації процесу сушіння. Розроблена принципова схема вібраційної машини для сушіння горіхів, підібрано обладнання для реалізації процесу. Цей висновок відповідає першому завданню досліджень.

Другий загальний висновок ґрунтується на розробці математичної моделі процесу сушіння, яка дозволяє визначати температуру ядра горіха в залежності від початкових умов і технологічних параметрів процесу. 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. Цей висновок відповідає другому завданню досліджень.

Третій загальний висновок стосується розробленої методики і проведеним дослідженням по визначенню фізико-механічних властивостей горіхів. Характерним розміром горіху є еквівалентний діаметр 34,87 мм, сферичність становить 91,08%. Ці дані свідчать про правомочність представлення форми горіху як «куля в сфері». Результати визначення теплофізичних властивостей горіхів показують ідентичність залежностей з іншими рослинними матеріалами через однакову форму зв'язку вологи з матеріалом – колоїдні капілярно-пористі тіла. Цей висновок відповідає третьому завданню дослідження.

У четвертому загальному висновку викладено результати розробки та виготовлення лабораторної моделі та дослідно-промислового зразку вібраційної машини. 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.

П'ятий загальний висновок стосується проведених експериментальних досліджень які підтвердили гіпотезу про доцільність застосування вібраційного впливу для інтенсифікації процесу сушіння. Коефіцієнт теплообміну із застосуванням вібраційного впливу більше такого ж без нього на 20...27% при однакових значеннях температури і швидкості сушильного агенту. Висунута гіпотеза, яка (при подальших ґрунтовних дослідженнях) може пояснити причину виникнення цього явища.

У шостому загальному висновку приведені результати дослідження по визначенню раціональних технологічних параметрів. Аналіз отриманого рівняння регресії дозволив визначити раціональні технологічні параметри:

температура сушильного агенту 38°C , його швидкість $22,5 \text{ м/с}$, віброприскорення сушильної камери $65,6 \text{ м/с}^2$ при постійній амплітуді її коливань $6,5 \text{ мм}$.

В сьомому загальному висновку приведені результати перевірки адекватності математичної моделі яка показала розбіжність між теоретичними та експериментальними даними не більше 11% , а проведена статистична оцінка відповідності теоретичних та експериментальних даних показала що середнє відхилення між моделлю та експериментом становить 5% , що свідчить про доцільність застосування розробленої математичної моделі для дослідження процесу сушіння волоських горіхів.

У восьмому загальному висновку приведені результати виробнича перевірка вібраційної машини для сушіння волоських горіхів, яка засвідчила ефективність застосування вібраційного впливу для інтенсифікації процесу сушіння. Основний показник енергетичної ефективності роботи сушарки - затрати енергії на випаровування 1 кг вологи - становив $3,91 \text{ МДж/кг}$, що на $12...15\%$ менше ніж у сучасних конвективних сушарок сільськогосподарського призначення. Результати техніко-економічної оцінки експериментальної вібраційної машини для сушіння волоських горіхів засвідчили її перевагу над базовою сушаркою. Річний економічний ефект становить $184\,500 \text{ грн}$, а термін окупності капіталовкладень – $2,2$ роки.

Таким чином, усі загальні висновки послідовно розкривають виконання поставлених завдань і підтверджують досягнення мети дослідження. Результати роботи є достовірними, обґрунтованими та мають практичну значущість для розвитку обладнання для сушіння волоських горіхів та інших подібних матеріалів.

3. Наукова новизна одержаних результатів і їх значення для науки та виробництва

Наукова новизна одержаних результатів у загальному випадку полягає в тому, що здобувачем розроблено конструкцію вібраційної машини для

сушіння волоських горіхів та обґрунтовано раціональні конструктивно-технологічні параметри її роботи для отримання матеріалу нормативної якості з мінімальними енергетичними витратами.

Здобувачем вперше розроблена математична модель нагрівання в процесі сушіння волоських горіхів 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.

Вперше встановлено 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.

Значущість результатів досліджень для науки полягає в тому, що проведені аналітичні та експериментальні дослідження, а також характер отриманих результатів є подальшим розвитком теоретичних положень і уточненням методики обґрунтування раціональних конструктивно-технологічних параметрів вібраційної машини для сушіння волоських горіхів. Отримані результати є вихідними положеннями для подальшого розвитку методів розрахунку, оптимізації та проектування вібраційних сушарок, що загалом сприятиме удосконаленню технологічних процесів переробки рослинних матеріалів.

Значущість результатів досліджень для виробництва полягає в обґрунтуванні схеми та визначенні конструктивно-технологічних параметрів роботи вібраційної машини для сушіння, а застосування розробленої сушарки у виробничих умовах дозволяє забезпечити високу якість готового продукту, зменшити енергетичні витрати, скоротити тривалість процесу та підвищити показники економічної ефективності.

Теоретичні та експериментальні результати наукових досліджень

прийняті спеціалістами підприємства ТОВ «Агромаш-Калина» (м. Калинівка, Вінницька область) для виготовлення дослідно-промислових зразків вібраційних машин для сушіння волоських горіхів.

Розроблений дослідно-промисловий зразок вібраційної машини для сушіння волоських горіхів пройшов виробничу перевірку на базі ПП «ЯФК ВІТОН» (Вінницька обл., Могилів-Подільський р-н., село Велика Кісниця, вул. Ринкова, буд. 4).

Результати досліджень підтвердили технологічну ефективність і економічну доцільність використання розробленого дослідно-промислового зразка вібраційної машини для сушіння волоських горіхів

Результати теоретичних та експериментальних досліджень, пов'язані з обґрунтуванням конструктивно-технологічних параметрів вібраційної машини для сушіння волоських горіхів упроваджені у навчально-методичну та наукову роботу кафедри інженерної механіки та технологічних процесів в АПК Вінницького національного аграрного університету при викладанні дисципліни «Процеси та апарати біотехнологічних виробництв».

4. Повнота викладення основних результатів у наукових фахових виданнях і дотримання вимог академічної доброчесності

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.

Зміст наведених наукових публікацій ідентичний результатам основного змісту дисертаційної роботи здобувача.

Наведені дані апробації та опублікування результатів наукових досліджень в періодичних рецензованих виданнях відповідають вимогам пунктів 8, 9 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової

установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою КМ України від 12.01.2022 р. за № 44.

Обсяг і структура роботи та повнота викладення матеріалу дисертації відповідає вимогам МОН України № 40 від 12.01.2017 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації». Зміст анотації ідентичний структурі та змісту дисертації і в достатній мірі характеризує основні результати роботи.

Використання чужих наукових результатів без посилань на авторів у дисертаційній роботі не виявлено, тобто автором дотримані вимоги академічної доброчесності.

5. Оцінка змісту дисертації, її завершеність та загальна характеристика роботи

Дисертація складається з анотації, вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел з 129 найменувань і 8 додатків на 20 сторінках.

Основний зміст дисертації викладено на 169 сторінках. Вона включає 40 рисунків і 14 таблиць. Загальний обсяг роботи складає 190 сторінок.

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми, розкрито зміст і сучасний стан наукової проблеми, визначено її значення. Висвітлено зв'язок дослідження з науковими програмами, висунута наукова гіпотеза, конкретизовано об'єкт і предмет дослідження, наведено застосовані методи дослідження, чітко сформульовано мету та основні завдання роботи. Визначено наукову новизну, практичну значущість одержаних результатів, а також окреслено особистий внесок автора у їх досягнення.

У першому розділі «Стан та тенденції розвитку об'єкта досліджень» здійснено аналіз стану наукового завдання, представлено основні технології післязбиральної обробки волоських горіхів та роль процесу сушіння в їх реалізації.

Проаналізовані основні способи та засоби для сушіння волоських горіхів, шляхи інтенсифікації цього процесу. Визначено що одним із дієвих способів

збільшення енергоефективності процесу сушіння є застосування вібраційної дії на шар матеріалу.

Окреслено основні завдання для успішної реалізації поставленої мети досліджень.

У другому розділі викладено теоретичні засади процесу сушіння волоських горіхів та обґрунтовано перспективні шляхи його інтенсифікації з урахуванням термолабільності досліджуваного матеріалу. Показано, що застосування традиційного підходу, який ґрунтується на підвищенні різниці температур між сушильним агентом і матеріалом, є недоцільним через ризик погіршення якісних показників горіхів. У зв'язку з цим розроблено математичну модель процесу сушіння, яка дає змогу визначати зміну температури ядра горіха в довільний момент часу залежно від початкових умов та основних технологічних параметрів процесу.

Для опису енергетичних витрат на випаровування вологи з матеріалу використано концепцію негативних внутрішніх джерел тепла, інтенсивність яких змінюється за експоненціальним законом. Такий підхід дозволяє адекватно врахувати внутрішні теплообмінні процеси під час сушіння. Крім того, у розділі наведено теоретичні положення щодо визначення теплофізичних характеристик волоських горіхів, які базуються на закономірностях нестационарного теплопереносу в системі двох напівобмежених стрижнів із локалізованим у зоні контакту джерелом тепла сталої потужності.

У третьому розділі розроблено програму та методику експериментальних досліджень, спрямованих на визначення раціональних технологічних параметрів роботи конвективно-вібраційної машини для сушіння волоських горіхів. Спроековано та виготовлено дослідно-промисловий зразок вібраційної машини та обґрунтовано вибір основних технологічних параметрів процесу сушіння, зокрема температуру і швидкість сушильного агенту на вході в сушильну камеру та віброприскорення з фіксованою амплітудою 6,5 мм. Визначено рівні та інтервали варіювання факторів і складено матрицю експериментів. Розроблено методики визначення фізико-механічних і

теплофізичних характеристик матеріалу та коефіцієнта теплообміну з урахуванням вібраційного впливу, що створює основу для верифікації математичної моделі процесу сушіння волоських горіхів.

У четвертому розділі дисертаційної роботи систематизовано та проаналізовано результати реалізації програми експериментальних досліджень. Встановлено розмірно-вагові характеристики волоських горіхів сорту «Chandler», при цьому значення коефіцієнта сферичності, яке становить 91,08%, свідчить про високий ступінь геометричної наближеності їх форми до сферичної та підтверджує коректність відповідного припущення яке прийняте при побудові математичної моделі процесу сушіння.

Експериментально визначено залежності теплофізичних характеристик матеріалу від вологості, характер яких є типовим для рослинних матеріалів колоїдної капілярно-пористої структури. Дослідження теплообмінних процесів показали, що використання вібраційного впливу забезпечує зростання коефіцієнта теплообміну на 20–27% порівняно з умовами без вібрації, що свідчить про суттєву інтенсифікацію процесу сушіння.

У результаті експериментальних досліджень отримано аналітичні залежності для визначення показників, які характеризують інтенсивність негативних внутрішніх джерел тепла, зокрема початкової інтенсивності q_0 та коефіцієнта k_1 . На основі експериментальних досліджень визначено рівняння регресії, аналіз якого дозволив обґрунтувати раціональні режимні параметри процесу сушіння: температуру сушильного агенту 38 °С, швидкість його руху 22,5 м/с та віброприскорення сушильної камери 65,6 м/с² за сталої амплітуди коливань 6,5 мм. Проведена верифікація математичної моделі засвідчила, що розбіжність між теоретичними та експериментальними даними не перевищує 11 %, а результати статистичної оцінки підтвердили адекватність розробленої математичної моделі процесу сушіння волоських горіхів.

У п'ятому розділі дисертаційної роботи наведено результати техніко-економічної оцінки розробленого дослідно-промислового зразка вібраційної машини для сушіння волоських горіхів. Проведений аналіз показав її суттєву

перевагу порівняно з базовою сушильною установкою за основними техніко-економічними показниками. Розрахунки економічної ефективності засвідчили доцільність упровадження запропонованого технічного рішення, оскільки очікуваний річний економічний ефект становить 184500 грн, а термін окупності капіталовкладень не перевищує 2,2 року, що підтверджує економічну привабливість та практичну значущість розробки.

6. Загальні зауваження та дискусійні положення щодо матеріалів дисертації

Загальні зауваження

6.1. Під наведеними рисунками не вказані початкові умови проведення дослідів, таких як температура та швидкість повітря, віброприскорення та ін.

6.2. Автор роботи в дисертації оцінює інтенсивність процесу сушіння через коефіцієнт теплообміну, натомість краще застосовувати інтенсивність процесу теплообміну.

6.3. Згідно представленої мети досліджень – її сутність не розкрито в дисертації та не відображено в загальних висновках: наскільки підвищилась продуктивність вібраційної сушильної установки, які отримані показники якості отриманої продукції після сушіння.

Зауваження до розділів дисертації

6.4. При вирішенні нестационарного рівняння теплопровідності сушіння волоських горіхів у вібраційній машині (п. 2.3.5, с. 72) отримано рівняння температури сушіння ядра волоських горіхів (рівняння 2.64 – 2.66, с. 80), в якій не враховано вібраційна складова процесу.

6.5. Матриця трьохфакторного плану експерименту має неповний вигляд (табл. 3.12, с. 118), так як в наведеному рівнянні регресії у загальному вигляді (п. 4.4, с.131) присутні не тільки фактори оптимізації, а і їх сумісний вплив та вплив окремого фактору в квадратичній залежності, що не відображено в таблиці і впливає на отримання рівняння регресії питомих витрат енергії.

6.6. Не вірно вказані розмірності при визначенні: теплоємності горіхів –

замість кДж/кг °С значення вказані в Дж/кг °С (рис. 4.3, с. 123); питомі енергетичні витрати на процес сушіння – замість кВт/м² кг вказано Вт/ м² кг (рис. 4.7, с. 129); питомі витрати теплоти на процес сушіння – замість МДж/кг вказано кДж/кг (рис. 4.9 – 4.11, с. 135 – 136).

6.7. Не представлені графіки кінетики процесу сушіння, які визначаються залежностями зміни вологості та температури матеріалу і швидкості сушіння від часу: $W = f(\tau)$; $v = f(\tau)$; $dW/d\tau = f(\tau)$. Замість цього на рис. 4.7, с. 129 під назвою кінетика сушіння, представлені енергетичні витрати від зміни вологості горіхів $Q = f(W)$ під час сушіння.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Дідика Андрія Михайловича на тему «Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів вібраційної машини для сушіння волоських горіхів», яку подано до спеціалізованої вченої ради на здобуття ступеня доктора філософії галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування є завершеною науковою працею, де отримано самостійні результати теоретичних та експериментальних досліджень, які забезпечують досягнення поставленої мети та сприяють підвищенню технологічної ефективності процесу сушіння шляхом обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів вібраційної машини для сушіння волоських горіхів.

Результати, які отримано автором дисертації є новими, мають наукову і практичну цінність та достатньо обґрунтованими, перевірені у виробничих умовах і підтверджені необхідними документами.

Матеріали всіх розділів логічно пов'язані і разом складають закінчену роботу, яка вирішує поставлені завдання. Зміст, форма подачі матеріалу та стиль викладання в достатній мірі задовольняють вимоги МОН України № 40 від 12.01.2017 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації». Анотація дисертації автентична та адекватна змісту та результатам дисертаційної роботи.

Відмічені недоліки до дисертаційної роботи не знижують її наукового та практичного рівня і не впливають на позитивну оцінку дисертації в цілому.

Виконані дослідження за науковим рівнем та практичним значенням, відсутності порушень академічної доброчесності відповідають вимогам Постанови Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44 «Про затвердження Порядку 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 ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування.

Офіційний опонент:

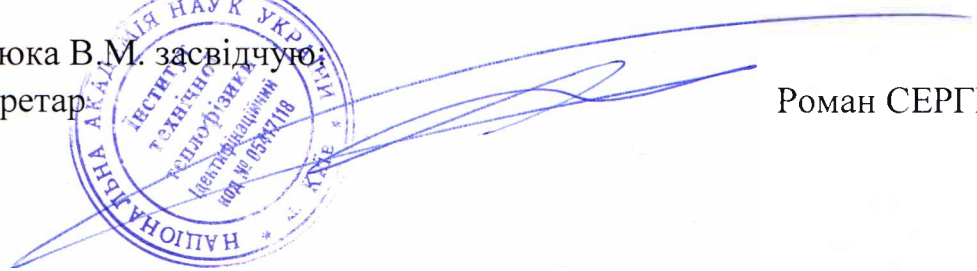
доктор технічних наук, доцент,
провідний науковий співробітник
наукового підрозділу тепломасопереносу в
теплотехнологіях Інституту технічної
теплофізики НАН України



Вадим ПАЗЮК

Підпис Пазюка В.М. засвідчую:

Учений секретар



Роман СЕРГІЄНКО

