

РЕЦЕНЗІЯ

БАБИНА Ігоря Анатолійовича,

к.т.н., доцента, доцента кафедри машин та обладнання сільськогосподарського
виробництва на дисертаційну роботу **ДІДИКА Андрія Михайловича**
«ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ
ВІБРАЦІЙНОЇ МАШИНИ ДЛЯ СУШІННЯ ВОЛОСЬКИХ ГОРІХІВ»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування

1. Актуальність теми

Волоські горіхи є цінним харчовим і лікувально-профілактичним продуктом, широко застосовуються в кулінарії та входять до складу багатьох страв. Україна належить до провідних світових виробників, проте експортує переважно не сортові горіхи в шкаралупі. Значне збільшення прибутків можливе за умови глибокої переробки з використанням усіх складових горіха (ядро, шкаралупа, перетинки, перекарпій) на сучасних технологічних лініях із високопродуктивним і енергоефективним обладнанням.

Ключовою і найбільш енергоємною операцією технології переробки волоських горіхів є сушіння (до 50 % усієї витраченої енергії). Для тривалого зберігання вологість горіхів необхідно знизити до 8 – 10 %, а для лущення - до 10 – 15 %, тоді як після збору вона може сягати 40 %.

Ефективним способом інтенсифікації сушіння є вібраційний вплив на шар матеріалу, який зменшує аеродинамічний опір, руйнує ламінарний примежовий шар, турбулізує потік сушильного агента та дозволяє гнучко регулювати інтенсивність процесу. Вітчизняні конвективні сушарки, поки що, практично не використовують вібраційну технологію тому розробка конструкції та визначення оптимальних технологічних параметрів вібраційної сушильної машини для волоських горіхів є актуальним науковим і практичним завданням, що сприятиме підвищенню енергоефективності та конкурентоспроможності української горіхової галузі.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

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.).

3. Аналіз змісту дисертації. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації

Дисертаційна робота має логічну структуру та повною мірою охоплює всі етапи наукового дослідження.

У вступі автор визначив мету, завдання, об'єкт, предмет дослідження, а також обґрунтував актуальність тематики у межах галузі знань 13 «Механічна інженерія» та спеціальності 133 «Галузеве машинобудування». У першому розділі виконано огляд літератури та існуючих конструкцій, проведено їх аналіз, що дозволило виявити наукову проблему й обрати напрям удосконалення сушильного обладнання. Сформульовані мета, об'єкт, предмет та завдання досліджень.

У другому розділі розглянуті теоретичні засади процесу сушіння. Розглянуті можливі шляхи інтенсифікації процесу сушіння. Для визначення максимально можливої температури сушильного агенту наведена математична модель процесу, яка визначає температуру ядра горіху в довільний час залежно від початкових умов і технологічних параметрів процесу. Математична модель

представлена в критеріальному виді в результаті аналітичного вирішення рівняння нестационарної теплопровідності для тіла геометричної форми «куля в сфері» з внутрішніми джерелами тепла. Також наведені теоретичні основи визначення теплофізичних характеристик волоських горіхів.

У третьому розділі наведено програму, опис експериментальної установки, прилади, що використовували в роботі і методику проведення експериментальних досліджень.

Запропоновані методики для визначення фізико-механічних та теплофізичних характеристик волоських горіхів.

Запропонована методика визначення коефіцієнта теплообміну без вібраційного впливу та з його врахуванням. В якості факторів, які впливають на коефіцієнт теплообміну вибрані температура і швидкість сушильного агенту, а також віброприскорення при фіксованій амплітуді коливань сушильної камери.

Розроблена план-матриця багатофакторного експерименту для визначення раціональних режимних параметрів роботи вібраційної машини. У якості факторів були вибрані температура і швидкість сушильного агенту та віброприскорення сушильної камери при фіксованому значенні амплітуди її коливань 6,5 мм. Планування експерименту та обробка дослідних даних проводилась за допомогою програми *Mathematica 12.0*. В якості критерія оптимізації був вибраний основний показник ефективності роботи сушарки – затрати енергії на 1 кг випарованої вологи.

Четвертий розділ містить результати реалізації програми експериментальних досліджень.

Визначені розмірно-вагові та теплофізичні характеристики горіхів сорту «Chandler».

Коефіцієнт теплообміну із застосуванням вібраційного впливу більше такого ж без нього на 20...27% при однакових значеннях температури і швидкості сушильного агенту.

В результаті проведення дослідів по визначенню раціональних режимних параметрів процесу сушіння отримано рівняння регресії та побудовані поверхні відгуку.

У п'ятому розділі наведені матеріали виробничої перевірки роботи вібраційної машини, впровадження отриманих результатів і техніко-економічної оцінки розробленої машини.

Виробнича перевірка 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 МДж/кг, що на 12...15% менше ніж у сучасних конвективних сушарок сільськогосподарського призначення.

Результати техніко-економічної оцінки розробленого дослідно-промислового зразка вібраційної машини для сушіння волоських горіхів засвідчили його перевагу над базовою сушаркою і показують, що реалізація процесу сушіння за допомогою вібраційного впливу на шар горіхів інтенсифікує процес сушіння та значно зменшує енергозатрати на технологічний процес післязбиральної обробки волоських горіхів. Річний економічний ефект становить 184500 грн., а термін окупності капіталовкладень – 2,2 роки.

Висновки дисертації структуровані, відповідають меті й завданням дослідження. Рекомендації мають прикладний характер і є придатними для використання у промисловості, аграрному секторі, а також у навчальному процесі.

Дисертаційна робота демонструє комплексне вирішення науково-практичної проблеми та має значну цінність як для подальших наукових досліджень, так і для виробничого впровадження.

4. Наукова новизна одержаних результатів

До наукових результатів дисертаційної роботи, можна віднести те, що 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;

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

Набули подальшого розвитку:

- залежності теплофізичних характеристик матеріалу від форми зв'язку внутрішньої вологи з сухою речовиною.

Практичне значення одержаних результатів. Аналіз відомих конструкцій сушарок для волоських горіхів дозволив намітити шляхи інтенсифікації процесу сушіння. Визначено, що наразі дієвим засобом інтенсифікації процесу сушіння є вібраційний вплив на шар матеріалу. На основі проведеного аналізу запропонована конструктивна схема вібраційної машини для сушіння волоських горіхів.

Для визначення закономірностей процесу сушіння волоських горіхів розроблено та виготовлено дослідно-промисловий зразок на якому проведено серію експериментальних досліджень. Результатами цих досліджень підтверджено збільшення коефіцієнту теплообміну при застосуванні вібраційного впливу. В результаті проведення серії дослідів для вивчення впливу технологічних параметрів на енергетичні показники процесу сушіння отримано рівняння регресії, аналіз якого дозволив визначити раціональні технологічні параметри. На основі проведених досліджень був розроблений та виготовлений дослідно-промисловий зразок вібраційної машини для сушіння волоських горіхів.

5. Достовірність отриманих результатів і висновків

Достовірність отриманих результатів дослідження з обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів вібраційної машини для сушіння волоських горіхів забезпечується коректним формулюванням мети, задач та послідовним вирішенням науково-технічних питань, що постають у ході дисертаційної роботи. Надійність наукових положень, висновків та рекомендацій підтверджується відповідністю використаної методології специфіці поставленої задачі, повнотою теоретичного аналізу та експериментального вивчення об'єкта дослідження, а також застосуванням комплексу методів, що адекватно відображають особливості процесу сушіння у вібраційній машині.

6. Практична цінність одержаних результатів та рекомендації щодо їх подальшого використання

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».

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). У ході випробувань встановлено, що при віброприскоренні $A\omega^2 = 65,6 \text{ м/с}^2$, швидкості теплоносія $V = 22,5 \text{ м/с}$ та температурі $t = 38 \text{ }^\circ\text{C}$ відбувається зниження вологості з $W_{\text{п}} = 28\%$ до $W_{\text{к}} = 10\%$ за 8 годин, при збереженні його якості волоських горіхів. Також визначено, що витрати енергії на 1 кг випаруваної вологи склали 3,91 МДж/кг, що на 15...17 % менше, ніж у сучасних конвективних сушарках.

Передано конструкторську і технологічну документацію підприємству ТОВ «Агромаш-Калина» (Вінницька область, м. Калинівка) на виготовлення дослідно-промислових зразків вібраційних машин для сушіння волоських горіхів.

7. Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності та повнота викладу наукових положень та результатів в опублікованих працях

Дисертація має логічну структуру. Основні висновки та рекомендації логічно впливають із результатів, представлених у розділах роботи.

Проведено перевірку дисертації на наявність академічного плагіату, результати якої складають 89% оригінальності тексту. Протягом усього тексту дисертації простежується авторський стиль викладу.

Усі основні положення та найважливіші результати дисертації, подані до захисту, опубліковані у необхідному обсязі у фахових виданнях України.

Основні положення дисертаційної роботи представлені у 14 наукових публікаціях, серед яких: 1 в 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.

Таким чином, вимоги щодо кількості та якості наукових публікацій повністю виконано.

8. Недоліки та зауваження щодо змісту дисертаційної роботи

8.1 Розділ 1.3.4 (стор. 39-46, рис. 1.5-1.10): Аналіз сушарок описовий; проте в характеристиках не зазначено опір повітряного потоку.

8.2 Розділ 2.1.1 (стор. 56, формула 2.8): $\sum Q_{втр}$ у 2.8 не деталізовано у математичному вигляді.

8.3 Розділ 2.3.2 (стор. 68, формула 2.26): Рівняння теплопровідності без врахування пористості шкаралупи горіха, чому вона не врахована.

8.4 На ст. 73 зазначено: «Волоський горіх можна розглядати як кулю, але незвичайну, а складену як «куля в сфері», де зовнішня куля - це шкаралупа радіусом R », а на сторінці 72 складовою критерія Біо $Bi = HR$, у формулі 2.64 зазначено R як складова Біо та радіус шкаралупи ідентично.

8.5 У роботі не розглянуті умови при яких вібраційний вплив створить ризик механічного травмування оболонки чи ядра волоського горіха.

8.6 Розділ 4.1 (стор. 119-121): Розміри ($De = 36.41$ мм) – мала вибірка (30), без σ (стандартного відхилення).

8.7 Потребує пояснення опис точок перегину $W = 32...33\%$. рис. 4.4. Чому дані точки не позначено на графіку.

8.8 Відповідно яких залежностей отримано формулу 4.10 коефіцієнту теплообміну із застосуванням вібраційного впливу.

8.9 На сторінці 134 зазначено «При проведенні досліджень для визначення раціональних технологічних параметрів була додатково проведена серія дослідів з метою верифікації математичної моделі (рівняння 2.46)». Вважаю, що результати теоретичних досліджень доцільно навести у графічному вигляді в розділі 2.

9. Висновки до дисертаційної роботи

Представлена дисертація є цілком завершеною самостійною науково-дослідною роботою, яка містить науково обгрунтовані результати. У дослідженні розглянуто зниження енергетичних витрат при забезпеченні встановлених показників якості сушіння волоських горіхів шляхом обгрунтування конструктивно-технологічних параметрів вібраційної машини для сушіння, що має важливе значення для галузі знань 13 Механічна інженерія. Тема та зміст дисертації відповідають спеціальності 133 Галузеве машинобудування.

Відмічені зауваження не мають принципового характеру, суттєво не впливають на практичну і наукову значимість проведених досліджень.

Усе викладене вище дозволяє стверджувати, що з огляду на актуальність теми дисертації, обґрунтованість наукових положень, висновків, рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх новизну та практичну цінність, повноту викладу в наукових публікаціях, відсутність порушень академічної доброчесності, обґрунтовані результати проведених здобувачем досліджень, має теоретичне та практичне значення і повністю відповідає усім вимогам. Представлена робота повністю відповідає вимогам Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44 (зі змінами) та наказу МОН України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», і може бути представлена для офіційного захисту в разовій спеціалізованій вченій раді, а її автор – Дідик Андрій Михайлович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування.

Рецензент, к.т.н., доцент, доцент
кафедри машин та обладнання
сільськогосподарського виробництва

Ігор БАБИН

Підпис Бабина І.А. засвідчую:
Вчений секретар



Тетяна КОРПАНЮК