РЕЦЕНЗІЯ

Луца Павла Михайловича, кандидата технічних наук

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 цінною сировиною, яку широко застосовують у харчовій промисловості, фармакології та інших галузях. Для України ця культура має особливе значення, оскільки стає одним із перспективних експортних продуктів, здатних частково замінити традиційні товарні позиції. Водночас значна частина продукції, що постачається на зовнішні ринки, реалізується переважно в шкаралупі та без належного сортування, що знижує її конкурентоспроможність і обмежує вартість. Для збільшення глибини переробки потрібно застосовувати сучасні технологічні лінії, оснащені високопродуктивним і енергоефективним обладнанням. Основою технології переробки більшості продукції галузі рослинництва є операція сушіння. Сушіння потрібне для підготовки матеріалу до тривалого зберігання або для приведення його в оптимальні умови для виконання наступних технологічних операцій. Так, для волоських горіхів, оптимальною вологою для зберігання є 8…10%, у той же час із саду вони поступають із набагато більшою вологістю (іноді до 40%), але операція сушіння в усіх технологіях є найбільш енергозатратною, інколи на неї припадає до половини всієї потрібної енергії. Більшість сучасних сушарок вичерпали свої можливості для збільшення енергоефективності процесу. Одним із засобів інтенсифікації процесу сушіння є застосування вібраційного впливу на шар матеріалу. Вібраційний вплив дозволяє зменшити аеродинамічний опір, зруйнувати граничний шар навколо одиночного горіха, турбулізувати потік сушильного агенту. Окрім того,

параметри вібрації можна регулювати в широких межах, таким чином впливати на весь матеріал, що знаходиться в сушильній камері і на окремі його шари. На жаль, застосування вібраційного впливу на матеріал у конвективних вітчизняних сушарках не знайшло гідного йому розповсюдження, тому розробка конструкції та визначення параметрів роботи вібраційної машини для сушіння волоських горіхів, є актуальним завданням наукових досліджень і практичного впровадження.

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. Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації.

Дисертаційна робота має чітку логічну структуру та повною мірою охоплює всі етапи наукового дослідження – аналіз існуючих конструкцій сушарок, постановка задач до розробки нових підходів, створення математичної моделі процесу сушіння, експериментальна перевірка та формулювання висновків і рекомендацій.

У вступі автор обґрунтував актуальність тематики у межах галузі знань 13 «Механічна інженерія» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» та обґрунтував наукову гіпотезу для подальших досліджень.

У першому розділі виконано обширний огляд літератури та існуючих конструкцій для сушіння горіхів, зроблено їх аналіз, що дозволило виявити наукову проблему й обрати раціональний напрям удосконалення сушильного обладнання. Сформульовані мета, об'єкт, предмет та завдання досліджень.

У другому розділі розглянуті теоретичні засади процесу сушіння. Обґрунтовані шляхи інтенсифікації процесу сушіння. Для визначення максимально можливої температури сушильного агенту розроблена математична модель процесу, яка визначає температуру ядра горіху в визначеній точці, залежно від початкових умов і режимних параметрів процесу. Математична модель представлена в критеріальному вигляді в результаті аналітичного вирішення рівняння нестаціонарної теплопровідності для тіла геометричної форми «куля в сфері» з урахуванням внутрішніх джерел тепла. Також наведені теоретичні основи визначення теплофізичних характеристик волоських горіхів.

У третьому розділі наведено програму експериментальних досліджень, опис експериментальної установки, прилади, що були використані в роботі і методику проведення експериментальних досліджень. Розроблені методики для визначення фізико-механічних та теплофізичних характеристик волоських горіхів. Також розроблена методика визначення коефіцієнта теплообміну без вібраційного впливу та з урахуванням його. В якості факторів, які впливають на коефіцієнт теплообміну обрані температура і швидкість сушильного агенту, а також віброприскорення при фіксованій амплітуді коливань сушильної камери.

Розроблено план-матрицю багатофакторного експерименту для визначення раціональних режимних параметрів роботи вібраційної машини. В якості критерія оптимізації був вибраний основний показник ефективності роботи сушарки – затрати енергії на 1кг випаруваної вологи. Планування

експерименту та обробка дослідних даних проводилась за допомогою програмного забезпечення Mathematica 12.0.

Четвертий розділ містить результати реалізації програми експериментальних досліджень. Визначено розмірно-вагові та теплофізичні характеристики горіхів сорту «Chandler».

Коефіцієнт теплообміну із застосуванням вібраційного впливу більший ніж без застосування 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. Аналіз рівняння регресії дозволив визначити раціональні режимні параметри. Верифікація математичної моделі показала незначну розбіжність між теоретичними та експериментальними даними, що свідчить про адекватність розробленої математичної моделі процесу сушіння волоських горіхів.

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.

Висновки дисертації відповідають меті й завданням дослідження, чітко формулюють нові наукові положення, підтверджені експериментально і теоретично.

Загалом, ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій є високим. 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 і теоретичне значення дисертації.

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 нестаціонарної теплопровідності для геометричної фігури «куля в сфері» з негативними внутрішніми джерелами тепла, інтенсивність яких змінюється за експоненційним законом;

- встановлено залежність температури та швидкості сушильного агенту, 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.

5. Достовірність отриманих результатів і висновків.

Обґрунтованість і достовірність отриманих результатів та сформульованих висновків забезпечується комплексним підходом до вирішення наукового завдання, що поєднує теоретичні дослідження та експериментальну перевірку. Узгодженість результатів теоретичних та експериментальних досліджень, застосування сучасних програмних засобів і точних вимірювальних приладів, а також використання методів математичної статистики для обробки результатів забезпечують високу надійність та валідність отриманих даних. Високий ступінь кореляції між розрахунковими й експериментальними результатами підтверджує адекватність побудованих моделей і правильність зроблених висновків.

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 м/с^2, швидкості теплоносія V = 22,5 м/с та температурі t = 38 °С відбувається зниження вологості з $W_п$ = 28% до $W_к$ = 10% за 8 годин, при збереженні його якості. Також визначено, що витрати енергії на 1 кг випарuваної 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 випливають 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. Зауваження та рекомендації до дисертаційної роботи.

8.1 В науковій гіпотезі (стор. 4) зазначено, що зменшення аеродинамічного опору шару волоських горіхів, за рахунок створення псевдозрідженого стану, що в свою чергу, збільшує коефіцієнт тепломасообміну, але в роботі. Перевірка цієї гіпотези має бути підтверджена у практичній або теоретичній частині роботи, а не посилатись на інші досліди?

8.2 В розділі 2 підроздіу 2.1.1 у формулах 2.1, 2.2 та надалі по тексту для змінної $q_з$ використано поняття «затраченої теплоти», а змінну $q_к$ формул 2.2 і 2.3 названо «теплотою, яка витрачається на випаровування». Було б добре привести ці назви до єдиного поняття.

8.3 В розділі 2 підрозділу 2.3.5 при розв'язанні рівняння (2.33) зроблено припущення (стор. 75), що теплофізичні характеристики матеріалу вважати постійними протягом усього часу сушіння, що на мою думку не є вірним. Зміна вологості істотно впливає на зміну теплофізичних характеристик, зокрема теплопровідність. Це показано в роботах: Чабанова О. В. (дисертація, Харків, 2013) - містить таблиці та регресійні рівняння саме для волоського горіха українського походження. Tarigan E., Prastowo B. et al. (2017) - «Thermal properties of walnut kernels at different moisture contents», Journal of Food Process Engineering.

(Висновок із усіх джерел практично однаковий: при зростанні вологості з 8 % до 25 % коефіцієнт теплопровідності ядра волоського горіха збільшується в середньому на 60–90 %).

8.4 В розділі 2 підрозділу 2.4.2 не достатньо розкритим і представленим є твердження, що підвищення швидкості теплоносія є ефективнішим, ніж збільшення температури теплоносія. Пропоную це навести у графічному вигляді.

8.5 В таблиці 3.1 розділу 3 представлені параметри вібраційної машини на якій проводилися експериментальні дослідження, з якої не зовсім є зрозумілим який нагнітальний пристрій використовується для подачі теплоносія і які його характеристики і можливості регулювання?

8.6 У підрозділі 3.1 розділу 3 при представлені дослідно-промислового зразку вібраційної машини було б доцільним навести склад і опис блока керування обладнанням.

8.7 В 3 розділі на рисунку 3.16 показана наважка волоських горіхів після стискання в циліндричній ємності з зусиллям $2{,}1 \cdot 10^5$ Па гідравлічним поршнем, але не наведено для чого це виконувалось і саме з таким зусиллям.

8.8 В 3 розділі на рисунку 3.17 загального виду не позначено складові лабораторної установки з чого не є зрозумілою послідовність роботи, та як саме вона працює.

9. Висновки до дисертаційної роботи.

Робота є завершеною та містить науково обґрунтовані результати. У дослідженні розглянуто зниження енергетичних витрат при забезпеченні встановлених показників якості при сушінні волоських горіхів шляхом обґрунтування конструктивно-режимних параметрів вібраційної машини для сушіння, що цілком відповідає спеціальності 133 Галузеве машинобудування галузі знань 13 Механічна інженерія.

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

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 на присудження ступеня доктора філософії зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування.

Рецензент
кандидат технічних наук,
старший викладач кафедри машин та
обладнання сільськогосподарського
виробництва Вінницького
національного аграрного університету Павло ЛУЦ

Підпис Луца П.М. засвідчую:
Вчений секретар Тетяна КОРПАНЮК