

Відгук  
офіційного опонента на дисертаційну роботу  
Вишнівського Віталія Миколайовича  
«Енергоефективна камерна сушарка з комбінованим  
нагрівом теплоносія»,  
представлену до захисту на здобуття  
наукового ступеня доктора філософії  
за спеціальністю 144 - теплоенергетика

### **Загальна характеристика роботи**

Дисертаційна робота Вишнівського В.М. присвячена дослідженню енергоефективних технологій сушіння капілярно-пористих матеріалів, створення зразків техніки та методів їх розрахунку. Застосування нових технологій комбінованого сушіння із застосування інфрачервоних випромінювачів дає можливість значно інтенсифікувати процес.

На базі розроблених технологій сушіння спроектована конструкція сушильної камерної установки з встановленими енергоефективними товстоплівковими нагрівальними елементами та інфрачервоними випромінювачами. Тому **актуальність** теми дисертації Вишнівського В.М. не викликає сумніву. Робота виконувалась у відповідності до тематики науково-дослідних робіт Інституту технічної теплофізики НАН України.

Цілком виправданим і достатньо обґрунтованим є вибір автором ресурсоефективних технологій для інтенсифікації процесу сушіння капусти білокачанної та амілопектинової кукурудзи, дослідження яких становить основну мету роботи.

**Наукова новизна.** В роботі вперше обґрунтована і експериментально доведена доцільність використання комбінованих методів сушіння капусти білокачанної та амілопектинової кукурудзи.

Наукову цінність в першу чергу мають:

- дано теоретичний опис кінетики сушіння амілопектинової кукурудзи, що дозволяє розрахувати узагальнену криву сушіння та криву сушіння;
- розраховані відносні коефіцієнти сушіння та коефіцієнти сушіння, отримані формули тривалості процесу сушіння;
- досліджено зміну тепломасообмінного критерію Ребіндера на зниження вологості матеріалу під час сушіння;
- вперше досліджено вплив товстоплівкових нагрівальних елементів на енергоефективність сушарки з комбінованим нагрівом теплоносія.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в розробці камерної сушарки з встановленням товстоплівкових нагрівальних елементів та інфрачервоних випромінювачів, що дозволило за необхідної якості обробки та продуктивності обладнання значно зменшити енерговитрати в порівнянні з традиційними сушильними установками.

В дисертаційній роботі наведені відомості про **особистий внесок** здобувача, що свідчить про **самостійність** виконання роботи і одержання основних результатів досліджень.

Експериментальні дослідження виконані з використанням загально прийнятих і спеціально створених методик і обладнання, а результати випробувань в промислових умовах засвідчують **достовірність** одержаних даних.

Практичне значення результатів дисертаційної роботи підтверджується актами впровадження: 1. Апробація сушильної установки Інституту технічної теплофізики НАН України для розробки оптимальних режимів сушіння чаполочі пахучої (*Hierochloe odorata*, зубрівки). 2. Дослідження з підбору оптимального технологічного режиму по зневодненню зерна восковидної кукурудзи з використанням новітніх методів сушіння сировини для отримання аналітичних результатів та продуктів для їх подальших досліджень фізико-хімічних властивостей для оптимізації виробничих процесів.

**Апробація роботи.** Основні результати і положення дисертаційної роботи доповідались і обґрунтовувались на ряді наукових конференцій і семінарів, в тому числі міжнародних.

**Публікації та автореферат.** Результати дисертаційної роботи опубліковані в 12 наукових публікаціях, в тому числі 5 у наукових спеціалізованих виданнях України; 1 у виданні, яка входить до наукометричної бази даних SCOPUS; 2 статті у наукових виданнях України; опубліковано 4 тез доповідей у збірниках матеріалів конференцій; подано 1 заявку патенту України на винахід.

### **Аналіз змісту дисертації**

Вступ містить основні дані щодо актуальності роботи, її наукової цінності і практичного значення.

У першому розділі наведено аналіз способів сушіння рослинної сировини, існуючих технології та обладнання для сушіння рослинної сировини. Розглянуті напрямки вдосконалення сушильного обладнання та технології процесу сушіння термолабільних матеріалів. При вдосконаленні технології процесу сушіння особливу увагу приділяли його енергоефективності та інтенсифікації зневоднення. Поєднання різних способів сушіння і перехід до комбінованого способу дає можливість вирішити поставлені завдання. Наведена класифікація основних типів сушильних установок.

*Зауваження до розділу:*

- - до рис. 1.2 не має посилання (с. 29);
- потрібно було б більше освітити п.1.3. присвячений вдосконаленню сушильного обладнання та технології.

Другий розділ розглядає особливості амілопектинової кукурудзи як об'єкту сушіння, представлений експериментальний стенд та вирішує методичні проблеми при проведенні експериментальних досліджень. Розглянута методика експериментального дослідження на конвективному сушильному стенді з наведенням програми проведення експериментальних досліджень передбачає обробку експериментальних досліджень за допомогою

сучасної автоматизованої програми збору та обробки інформації. Також розглянуті наступні методики, що характеризують якість матеріалу після сушіння: методика визначення схожості зерна кукурудзи, методика визначення вологості, методика визначення коефіцієнту набухання.

В третьому розділі представлені заходи по модернізації конвективного сушильного стенда із встановленням в сушильну камеру інфрачервоних випромінювачів, що дозволяють проводити комбінований нагрів матеріалу під час сушіння. Для порівняння інтенсивності сушіння при різних способах енергопідведення до зразків продуктів, представлені дослідження конвективного та конвективно-радіаційного способу при сушінні капусти білокачанної та амілопектинової кукурудзи.

Інтенсивність конвективного способу сушіння реалізується через застосування ступеневого режиму сушіння 80/60°C. Інтенсивність конвективно-радіаційного способу обмежується якісними характеристиками матеріалу (відбувається часткове потемніння), тому розроблений ефективний режим сушіння. Тому в роботі проводиться поєднання конвективно-радіаційного та конвективного способів сушіння капусти білокачанної, на початку процесу відбувається прогрівання матеріалу на протязі 30 хв та продовження процесу сушіння конвективним способом при температурі теплоносія 60°C.

Дослідження якісних характеристик, зокрема коефіцієнту набухання та відновлюваності капусти білокачанної вказує, що ступеневий конвективний режим сушіння 80/60°C не впливає на якість, а вплив інфрачервоного випромінювання суттєво змінює якість продукту.

При конвективному сушінні амілопектинової кукурудзи з температурою теплоносія 50 - 80°C здобувачем проводилось визначення схожості насіння кукурудзи після сушіння. Автор визначив оптимальну температуру сушіння, що становила 60°C при якій схожість становила 100%.

Дослідження тепломасообмінних процесів сушіння колоїдних капілярно-пористих матеріалів зводиться до визначення коефіцієнтів сушіння та побудови узагальнених кривих сушіння та швидкості сушіння за методом

Красникова В.В., Данілова В.А. Побудований тепломасообмінний критерій Ребіндера вказує на інтенсивність та енергоефективність проведення процесу.

*Зауваження до розділу:*

- в рис 3.3б і 3.6 не зрозуміло чи є на кривих сушіння 1 період сушіння (видалення вільної вологи);

- в розділі не розкрито співвідношення комбінованого впливу конвективного енергопідведення та інфрачервоного випромінювання;

- в посиланні на рис. 3.7. ст. 71 вираз «застосовуємо комбіновану дію конвективного та інфрачервоного випромінювання» є не коректним оскільки конвективне не є випромінювання, на думку опонента необхідно «застосовуємо комбіновану дію конвективного енергопідведення та інфрачервоного випромінювання»;

- в розділі 3.2 підписунокві написи некоректно сформульовані. Наприклад: «Рис. 3.10. Вплив температури теплоносія на тривалість сушіння насіння кукурудзи». доцільно замінити «Рис. 3.10. Криві кінетики сушіння кукурудзи (1 -3) і зміна температури продукту з часом сушіння (1' -4') при різних температурах теплоносія». «Рис. 3.11. Вплив температури теплоносія на швидкість сушіння насіння кукурудзи» доцільно замінити «Рис. 3.11. Криві кінетики швидкості сушіння при різних температурах теплоносія (або режимах сушіння): 1 - 50°C; 2 - 60°C, 3 - 70°C; 4 - 80°C; ( $\delta = 4$  мм,  $V = 3$  м/с,  $d = 10$  г/кг с.п.)» «Рис. 3.14. Вплив температури теплоносія на тривалість сушіння насіння кукурудзи» на думку опонента і згідно класики сушіння «Криві кінетики сушіння та температури кукурудзи при різних температурах теплоносія: 1,1' - 50°C; 2,2' - 60°C, 3,3' - 70°C; 4,4' - 80°C; ( $\delta = 4$  мм,  $V = 3$  м/с,  $d = 10$  г/кг с.п.)»;

- в висновках пункт 2 має констатуючий характер, на думку опонента доцільно подати процентне порівняння зменшення тривалості сушіння та якості матеріалу.

В четвертому розділі представлена розробка камерної сушарки з встановленими товстоплівковими та інфрачервоними нагрівальними

елементами. В сушарці передбачено прохід теплоносія через 2 зони сушіння з підігрівом в кожній зоні, також передбачена часткова рециркуляція відпрацьованого теплоносія.

Представлені дослідження кінетики процесу яблук, картоплі та гарбуза з комбінованим нагрівом теплоносія. В дослідженнях при опису процесу сушіння конвективно-радіаційний спосіб використовується на стадії прогрівання матеріалу (на протязі 30 хв), далі сушіння продовжується конвективним способом.

Витрати теплоти при повному завантаженні сушарки складають 4742 кДж/кг вип. вологи, що менше за існуючі аналоги (6440 кДж/кг вип. вологи). Коефіцієнт корисної дії 2-х зонної камерної сушарки складає  $\eta = 62,3\%$ , що вище за існуючі аналоги ( $\eta = 43\%$ ).

*Зауваження до розділу:*

*- на ст. 108 не обґрунтоване встановлення тривалості 60 хв на початковому етапі застосовування ІЧ випромінювання при комбінованому сушінні в енергоефективній камерній сушарці. На думку опонента час ІЧ випромінювання повинен встановлюватись на 1 період сушіння, який для різних продуктів рослинної сировини відрізняється;*

*- в тексті ст. 107 «Випаровування вологи в першому періоді змінюється по прямій лінії. Потім швидкість випаровування вологи починає зменшуватися і починається другий період», а на рис. 4.9 прямої лінії (видалення вільної вологи не спостерігається);*

*- в рис. 4.9. для картоплі спостерігається 1 період сушіння для точок вологовмістів 25, 38, 52% , оскільки значення швидкості сушіння практично однакові, на думку опонента необхідно провести апроксимаційне узагальнення. Незрозуміло чому не спостерігається 1 період в продукті 2(яблука) і продукті 3 (гарбуз);*

*- з розробки енергоефективної камерної сушарки з комбінованим нагрівом теплоносія ні з схеми рис. 4.3, ні з фото рис 4.5, 4.6 , 4.7 не зрозуміло де розміщені і яка взаємодія з сировиною інфрачервоних випромінювачів;*

- на рис. 4.11 вказано 2 рази слово комбінований спосіб, хоча в 2 способі потрібно вказати конвективний.

**Висновки** дисертаційної роботи ґрунтуються на аналізі одержаних результатів досліджень. Вони наведені в кінці кожного розділу і в узагальненому вигляді в кінці кожного розділу. Проте деякі мають констатуючий характер (п.2-6 загальних висновків)

**Список літературних джерел** налічує 72 найменувань, що засвідчує ґрунтовне опанування авторкою дисертації наявної інформації з обраної тематики, вміння користуватись нею і аналізувати.

**Мова та стиль роботи.** Дисертація написана добrotною українською технічною мовою. Стиль і виклад роботи логічний, послідовний і відповідає вимогам до дисертацій і друкованих праць.

Проте більшість зауважень принципово не заперечують основній концепції роботи, мають характер побажань або редакційного плану.

#### **Загальний висновок**

Дисертаційна робота Вишнівського В.М. актуальна за тематикою, містить новизну, має наукову цінність і практичну значимість, одержані результати засвідчують перспективність використання інноваційних технологій сушіння і можуть бути використані при створенні нового більш ефективного обладнання.

В роботі автор використав сучасні методика досліджень, що підтверджує достовірність одержаних результатів. Аналіз одержаних результатів і висновків виконано, опираючись на основні положення фізики, теорії подібності, процесу сушіння, що засвідчує належну наукову підготовку автора, її спроможність розв'язувати складні науково-прикладні задачі. Основні положення і результати роботи опубліковані у фахових виданнях, апробовані на наукових конференціях, підтверджені виробничими випробуваннями. Дисертація оформлена у відповідності до вимог. Дисертація Вишнівського В.М. за тематикою і змістом відповідає спеціальності 144 - теплоенергетика.

Крім наведених вище до окремих розділів по роботі є зауваження загального плану:

- робота добре відредагована, але зустрічаються окремі редакційні огріхи, невдалі вирази і підписи до рисунків (рис. 3.5, 3.7, 3.10 – 3.25);

- теоретична цінність роботи була б значно вищою, якби були наведені (хоча б в додатках, чи на рисунках) апроксимаційні рівняння даних кінетики сушіння з розділу;

- практична цінність роботи була б значно вищою, якби для товстоплівкових нагрівальних елементів окрім опору нагрівальних елементів були розраховані коефіцієнти тепловіддачі від елементів до повітря; розраховані коефіцієнти тепловіддачі і масовіддачі для досліджуваних продуктів і їх порівняння, визначення коефіцієнтів дифузії.

Таким чином, є всі підстави стверджувати, що дисертаційна робота Вишневського Віталія Миколайовича «Енергоефективна камерна сушарка з комбінованим нагрівом теплоносія» є завершеною науковою працею, в якій на підставі особисто виконаних автором досліджень отримано нові науково обґрунтовані теоретичні і експериментальні результати, яка вирішує науково-практичну задачу по створенню нового високоефективного обладнання.

На підставі вищезазначеного вважаю, що розглянута дисертація відповідає вимогам МОН та ДАК України, а її автор Вишневський Віталій Миколайович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 144 – теплоенергетика.

Офіційний опонент -

кандидат технічних наук,

доцент кафедри процесів і апаратів харчових виробництв

Навчально-наукового інституту харчових технологій

Національного університету харчових технологій

Міністерства освіти і науки України

06.06.2023



*І.В. Дубковецький*

І.В. Дубковецький