

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу

**Малащук Наталії Савівни**

на тему «**Інтенсифікація процесу зневоднення пряно-ароматичної сировини в теплонасосній сушарці**»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 14–Електрична інженерія

за спеціальністю 144–Теплоенергетика

### **Актуальність теми дисертації.**

Для всього світу в останній час особливої актуальності набула проблема підвищення енергоефективності процесів сушіння пряно-ароматичної сировини. При природному сушінні процес зневоднення суттєво залежить від тепловологісних параметрів атмосферного повітря, які в нестабільних кліматичних умовах України змінюються в широкому діапазоні, що не дозволяє проводити зневоднення в сталих оптимальних умовах і призводить до неможливості одержати кінцевий продукт з необхідними якісними показниками. Сушіння нагрітим повітрям має ряд переваг: у сушарках можливо регулювати температурний режим процесу, швидкість та вологовміст сушильного агента, що дозволяє зберегти біологічно активні речовини та ефірні олії.

Вибір параметрів процесу сушіння пряно-ароматичної сировини визначається термочутливістю летких ароматичних сполук ефірних олій. Для запобігання втрат летких речовин температура нагріву пряно-ароматичних трав не повинна перевищувати 40-50 °С. Але при низьких температурах сушіння значно зменшується інтенсивність зневоднення, збільшується його тривалість, що погіршує енергетичні показники процесу.

Конденсаційний метод сушіння з застосуванням теплового насоса використовується для реалізації енергоефективних режимів низькотемпературного сушіння пряно-ароматичної сировини. Застосування теплового насоса дозволяє за рахунок примусового осушення повітря, незалежно від умов навколишнього середовища, підтримувати необхідні тепловологісні параметри сушильного агента та створювати керовані умови технологічного процесу зневоднення, що гарантує високу якість готового продукту. Також за рахунок утилізації теплоти конденсації вологи сушильного агента енерговитрати в такій сушарці зменшуються майже в 3 рази в порівнянні з традиційною конвективною сушаркою.

Тому дослідження енергоефективних режимів сушіння пряно-ароматичної сировини для збереження біологічно активних речовин та ефірних олій, чому і присвячена дисертаційна робота Н.С. Малащук є актуальною.

## **Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.**

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

- визначені залежності парціальних тисків пари води на поверхні матеріалу від вологовмісту та температури для м'яти перцевої та встановлено, що в міру зменшення вологовмісту матеріалу при зниженні його температури тиск пари води на поверхні зменшується;
- експериментально одержані питомі витрати теплоти на сушіння листя м'яти перцевої при температурах 40 і 50 °С та виявлений вплив летких речовин ефірної олії м'яти на теплоту випаровування;
- встановлені температурно-вологісні параметри сушильного агента, при яких мінімізується випаровування летких ароматичних сполук із сировини;
- досліджені кінетичні закономірності конвективного сушіння пряно-ароматичної сировини, визначено оптимальні режими процесу;
- одержані емпіричні рівняння кривих сушіння м'яти перцевої, виведена узагальнена залежність для визначення тривалості процесу зневоднення;
- обґрунтована необхідність використання ступеневих режимів сушіння зі змінюваним ступенем осушування сушильного агента за отриманими даними з гіротермічної рівноваги та кінетики сушіння м'яти перцевої;
- досягнуто зниження енерговитрат процесу сушіння, за рахунок термодинамічної та фізичної рекуперації теплоти сушильного агента;
- одержані теплові характеристики полімерного рекуперативного теплообмінника.

Про достовірність отриманих здобувачкою результатів свідчить узгодженість результатів експериментальних досліджень з розрахованими. А також розроблений та впроваджений теплонасосний агрегат для конвективної сушарки.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

## **Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.**

За своїм змістом дисертаційна робота здобувачки Малащук Н.С. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 144–Теплоенергетика та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми ІТТФ НАН України зі спеціальності 144 Теплоенергетика.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувачки у науковий напрям теплоенергетика.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Малащук Наталії Савівни є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

### **Мова та стиль викладення результатів**

Дисертаційна робота написана українською мовою. Робота написана науковою мовою. Термінологія, яка присутня, є сучасною та загальноприйнятною. Дисертаційна робота є завершеною науковою працею та містить актуальні рішення.

Дисертація складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 168 сторінок.

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми досліджень, сформульовано мету та завдання дослідження, викладено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Надано дані про апробацію результатів дисертації, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами та перелік публікацій.

У першому розділі проаналізовані біохімічні і структурні властивості пряно-ароматичної сировини як об'єкту сушіння, проведено аналіз літературних джерел сучасних способів сушіння пряно-ароматичної сировини.

У другому розділі описані методики для проведення і обробки результатів експериментальних досліджень, а саме: досліджень сорбційних та теплофізичних характеристик пряно-ароматичної сировини, досліджень процесів сушіння, визначення теплових характеристик полімерного рекуперативного теплообмінника.

У третьому розділі наведені експериментальні та аналітичні дослідження пряно-ароматичної сировини як об'єкта сушіння. Проведені дослідження сорбційних властивостей пряно-ароматичних трав. Визначена питома теплота випаровування під час сушіння листя м'яти перцевої. Досліджена кінетика процесу сушіння пряно-ароматичної сировини та обґрунтовані шляхи інтенсифікації процесу зневоднення.

*Зауваження до 3 розділу:*

1. В рис 3.5, 3.6, 3.9, 3.10 і 3.11 не зрозуміло чи є на кривих сушіння перший період сушіння (видалення вільної вологи), оскільки швидкість сушіння вільної вологи є горизонтальна лінія (не змінюється).

2. В рис 3.7 і 3.8 вісь  $Y$  для кривої сушіння не наведені одиниці розмірності.

3. В рис 3.5, 3.6, 3.11 вісь  $X$  позначена як « $t$ , хв. і під рисунковому написи  $t = 40\text{ С}$

4. В рис 3.5, 3.6 швидкість сушіння (шкала справа) це не зміна вологовмістів  $dW, \%$  а  $dW/d\tau, \%/хв$ .

5. В розділі 3.2 ст.86, 87 не містять досліджень здобувача, а наведені досягнення Грег С., Синг К., надумку опонента доцільно перенести в розділ 1, а опис рівнянь 3.1 і 3.2 в методіку розрахунку розділ 2.

6. т розділі 3.2 підписані написи некоректно сформульовані. Наприклад: «Рис. 3.10. Вплив температури теплоносія на тривалість сушіння насіння кукурудзи». доцільно замінити «Рис. 3.10.

7. Не зрозумілі позначення в формулі 3.5  $\tau = \left( \frac{1}{k} \ln \left( \frac{W - W_\delta}{W_i - W_p} \right) \right)^{1/n}$  і пояснення до рівняння дає посилання на рівняння (3.2)  $q_a = \left[ \ln \left( \frac{\varphi_2}{\varphi_1} \right) / \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \right] R$ , що не описує кінетику сушіння і належить іншому підрозділу.

8. Ст.95 наведено «нелінійного коефіцієнта регресії ( $R^2$ )», згідно математичної статистики це «коефіцієнт кореляції», а коефіцієнти регресії це коефіцієнти  $k, n$  ( $k$  – коефіцієнт сушіння;  $n$  – дослідна константа) в рівнянні  $W^* = e^{-k\tau^n}$

9. Рис. 3.7 не зрозуміло де експериментальні криві, а де розрахункові криві. Доцільно навести позначення кривих з підписами як в рис 3.6. В чотирьох з шести кривих кінцевий вологовміст досягає нольових значень.

У четвертому розділі приведено аналіз енергоефективних режимів сушіння пряно-ароматичної сировини та технологічні схеми включення теплових насосів у теплогенеруючі системи конвективних сушарок. Розроблена методика розрахунку процесу теплонасосного сушіння в Н-d діаграмі вологого повітря. Проведені аналітичні дослідження впливу тепловологісних параметрів сушильного агента на енергетичні показники роботи теплового насосу.

Зауваження до 4розділу:

1. Підрозділ «4.1 Аналіз технологічних схем включення теплових насосів у теплогенеруючі системи конвективних сушарок» доцільно перенести в розділ 1.

2. З розділі 4 не зрозуміло чи теплонасосна сушарка є розробка здобувача, чи здобуток колективу в якому робилась дисертація, в другому варіанті все що не підлягає власним розробкам необхідно перенести в методіку «Розділ 2».

У п'ятому розділі висунуті вимоги до теплонасосної сушарки, описані теплогенеруючий осушуючий теплонасосний агрегат, конвективна теплонасосна сушильна установка для переробки пряно-ароматичної сировини та енергоефективна камерна сушарка з комбінованим нагрівом теплоносія, наведені результати розроблення та дослідження рекуператоративного полімерного теплообмінника типу «повітря-повітря».

*Зауваження до 5 розділу: дисертація присвячена зневодненню м'яти перцевої, а на візках (рис.5.12) в фотографіях розміщені яблука і інша сировина що не є пряно-ароматичною сировиною.*

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

### **Оприлюднення результатів дисертаційної роботи**

Наукові результати дисертації висвітлені у 21 науковій публікації здобувачки, серед яких: 2 статті у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України; 1 стаття у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базі даних Scopus; 1 стаття у наукових виданнях України та за кордоном; 2 статті у колективній монографії.

Також результати дисертації були апробовані на 15 наукових фахових конференціях.

Наукові публікації освітлюють результати отримані при роботі над дисертаційною роботою.

### **Загальні недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

1. *робота добре відредагована, але зустрічаються окремі редакційні огріхи, невдалі вирази, русизми і підписи до рисунків. Зокрема*

*ст.36 «залежить від **способу** сушіння», необхідно «способу»;*

*ст. 46 перший абзац зверху «атмосферного тиску в **околі** сировини» доцільно «околі» замінити «в примезжовому шарі»*

*ст. 97 другий рядок знизу «способом в **перод** збирання м'яти перцевої» доцільно «**перод**» замінити на «період».*

2. *Назва дисертації «... ЗНЕВОДНЕННЯ ПРЯНО-АРОМАТИЧНОЇ СИРОВИНИ...», тобто згідно з назвою в роботі повинна представлена різна пряно-ароматична сировина, а згідно змісту є дослідження тільки м'яти перцевої. На думку опонента доцільно назву змінити «Інтенсифікація процесу зневоднення **м'яти перцевої..**»*

3. *В об'єкті дослідження «процес сушіння» і в предметі дослідження «процес сушіння» що є некоректно, вивчивши обсяг дисертації опонент вважає, що більш доцільно записати:*

*Об'єкт дослідження – процес конвективного сушіння пряно-ароматичної сировини з застосуванням теплового насосу.*

*Предмет дослідження – м'ята перцева.*

4. *Всі під рисункові надписи доцільно подавати в жирному шрифті і з одинарним інтервалом.*

5. теоретична цінність роботи була б значно вищою, якби в роботі був окремий розділ по моделюванню та були розраховані коефіцієнти тепловіддачі від елементів до повітря; розраховані коефіцієнти тепловіддачі і масовіддачі для м'яти перцевої, визначення коефіцієнтів дифузії для парогазової суміші та критеріїв Шмідта та Шервурда.

6. Робота значно виграла, якби в розділі 3 (рис 3.9, 3.10, 3.11) були наведені для стебла з листками апроксимаційні рівняння кінетики сушіння

7. Практична цінність роботи була б значно вищою, якби був розділ економічної ефективності виробництва м'яти перцевої, чи принаймні розрахунки собівартості продукту і прибутку від впровадження.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

### **Висновок про дисертаційну роботу**

Вважаю, що дисертаційна робота здобувачки ступеня доктора філософії Малащук Наталії Савівни на тему «Інтенсифікація процесу зневоднення пряно-ароматичної сировини в теплонасосній сушарці» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для теплоенергетики.

Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 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 Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувачка Малащук Наталія Савівна заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 14–Електроніка та інженерія за спеціальністю 144 Теплоенергетика.

### **Офіційний опонент:**

кандидат технічних наук, доцент  
кафедри процесів і апаратів  
харчових виробництв  
Національного університету  
харчових технологій



Ігор ДУБКОВЕЦЬКИЙ

М.П.

« 1 » листопада 2023 року