

В спеціалізовану вчену раду Д 26.224.02
Інституту технічної теплофізики Національної академії наук України

ВІДГУК
офіційного опонента,

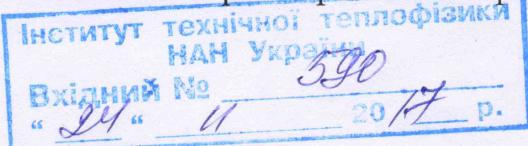
на дисертаційну роботу Іванова С.О. «Система визначення теплоти
випаровування та теплоємності вологих матеріалів», представлена на здобуття
наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю
05.11.04 – прилади та методи вимірювання теплових величин.

**1. Актуальність теми дисертації та її зв'язок з державними і
галузевими науковими програмами.**

Технологічний процес сушіння сировини та матеріалів розповсюджений у харчовій і фармакологічній промисловості, при виробництві будівельних матеріалів та біопалив і потребує значних витрат енергоресурсів. Одним з головних завдань технології сушіння є моніторинг та контроль властивостей об'єкта сушіння та механічного переносу вологої ньому, що дозволяє отримати матеріали та продукти необхідної якості з попередньо відомими характеристиками. Теорія сушіння базується на закономірностях переносу теплоти і вологої (тепломасообміну) у вологих матеріалах при їх взаємодії з нагрітими поверхнями або газовим середовищем, а також під дією теплового та електромагнітного випромінювання при наявності фазових переходів. Для оптимізації процесів сушіння, тобто вибору режимів, які дозволяють витратити мінімальну енергію на сушіння при збереженні корисних властивостей вихідного продукту, необхідна інформація про такі характеристики як питома теплота випаровування рідини з матеріалів та теплоємність. На ці характеристики суттєво впливає структура матеріалу, передісторія його попередньої обробки, кількість в матеріалі зв'язаної вологої і тип зв'язку. Для неоднорідних матеріалів зі складною структурою найбільш інформативним є пряме експериментальне визначення питомої теплоти випаровування та теплоємності за допомогою відповідних засобів вимірювання.

Створенню саме такого засобу та методів досліджень присвячена робота С.О. Іванова.

Задачі, які вирішуються в дисертаційній роботі, є актуальними і доцільними як в сuto теоретичному аспекті для врахування впливу на результати вимірювань різноманітних чинників складного теплообміну, так і в практичному аспекті, оскільки дозволили створити спеціалізовані калориметричні платформи



з комірками різної конструкції для дослідження матеріалів з різними характеристиками та вдосконалити методики їх дослідження.

Актуальність теми дисертаційної роботи підтверджується тим, що дослідження проводилися відповідно до держбюджетних наукових пошукових та програмно-цільових тем «Теплофізичні основи переробки біомаси і торфу на паливо» (шифр 1.7.1.841, 2012-2016рр., № ДР 0112U001932); «Розробка способів інтенсифікації процесів гідратації, гідролізу і екстракції на основі використання механізмів дискретно-імпульсного введення енергії» (шифр 1.7.1.852. 2014р., № ДР 0112U004699); «Дослідження мікромасштабних теплофізичних процесів в складних гетерогенних системах при впливі механізмів дискретно-імпульсного введення енергії з метою розробки нових технологій і продуктів» (шифр 1.7.1.840. 2012-2016рр.)

Отже, тема дисертаційної роботи С.О. Іванова, без сумніву, є актуальною.

2. Загальна характеристика структури та змісту дисертаційної роботи.

Дисертація складається з анотацій, вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел з 110 найменувань та 4 додатків. Робота містить 180 сторінок, у тому числі 118 сторінок основного тексту, 50 рисунків та 8 таблиць.

У вступі обґрунтовано актуальність теми роботи, сформульовано мету і задачі досліджень; наведено дані про зв'язок дисертації з науковими програмами, темами; визначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів досліджень; наведено дані про особистий внесок здобувача, апробацію результатів, публікації, структуру та обсяг роботи.

У першому розділі подано інформацію про основні фізичні процеси при сушінні; методи визначення теплоти випаровування аналітичним шляхом для чистих рідин та розчинів; методи і прилади визначення теплоти випаровування експериментальним шляхом; використання термо- і енергограм для дослідження процесів сушіння капілярно-пористих матеріалів; розглянуто методи і прилади синхронного теплового аналізу. На основі проведеного у першому розділі аналізу стану проблеми визначення теплоти випаровування сформульовані основні рекомендації по створенню системи дослідження теплоти випаровування.

Другий розділ присвячено обґрунтуванню основних параметрів вимірювальної системи та шляхів компенсування факторів впливу. Проведено оцінку діапазону значень густини теплового потоку, що підводиться до досліджуваного зразка. На підставі математичного моделювання температурного

поля по нескінченій пластині та по пластині кінцевих розмірів, на які локально діє тепловий потік, встановлені рекомендації по матеріалу та геометричним розмірам калориметричної платформи. На підставі аналізу неідентичності умов теплообміну комірок диференціальної калориметричної системи запропоновані методи компенсації впливу цих умов. Розроблений метод компенсації впливу зміни конвективної складової теплообміну зразка при визначенні теплоти випаровування. Розглянута фільтрація шумової складової результату вимірювання теплоти випаровування засобами програмного забезпечення. Сформульовано рекомендації до основних характеристик вимірювальних засобів, що входять до складу системи.

У третьому розділі розглянуті особливості конструкції та принцип роботи вимірювальної системи. Розроблено ряд калориметричних платформ з комірками різного профілю, які забезпечили суттєве розширення номенклатури досліджуваних на одному приладі матеріалів. Адаптовано відомі методи визначення питомої теплоти випаровування для дослідження неоднорідних матеріалів. Запропоновано покрокові методики та алгоритми опрацювання даних дослідження питомої теплоти випаровування та питомої теплоємності матеріалів, що надає можливість автоматизувати опрацювання результатів вимірювань. Запропоновано використання безконтактних сенсорів температури для вимірювання температури зразка та комірки-референта в процесі дослідження, що дозволило реалізувати метод внесення поправки на неідентичність умов теплообміну комірок диференціального калориметра та підвищити точність визначення питомої теплоти випаровування. Розглянуто реалізацію методу внесення поправки на теплообмін зразка з газовим середовищем у вигляді окремого коригуючого блоку з незалежною системою регулювання температури на основі елемента Пельтьє, що дозволило зменшити похибку визначення питомої теплоти випаровування.

У четвертому розділі розглянуто метрологічне забезпечення вимірювальної системи та результати експериментальних досліджень. Представлена методика градуування та первинної повірки системи визначення теплоти випаровування та теплоємності неоднорідних матеріалів. Проведено аналіз похибок вимірювальної системи при визначенні теплоти випаровування та теплоємності неоднорідних матеріалів. Наведені приклади експериментальних досліджень теплоємності та теплоти випаровування рідин з матеріалів, в тому числі тканин картоплі різної вологості до та після бланшування, суміші

рослинної сировини (буряк-лімон) та окремих її компонентів, зразків лози верби і тополі, зразків фрезерного торфу.

На підставі експериментальних досліджень при первинній повірці системи встановлено, що границі основної відносної похибки визначення питомої теплоємності складають $\pm 1,5\%$, а похибки визначення питомої теплоти випаровування $\pm 2,5\%$.

У *висновках* по дисертаційній роботі наведені основні результати проведених досліджень, а саме показано, що вирішено науково-технічне завдання розвитку методу синхронного теплового аналізу та забезпечення експериментального визначення теплоти випаровування та теплоємності вологих матеріалів зі складною неоднорідною структурою. Створено вимірювальну систему, яка дозволяє отримувати коректні дані для раціоналізації використання енергоресурсів на сушіння матеріалів, підвищити якість та знизити собівартість об'єкту сушіння.

Додатки містять акти про впровадження результатів дисертаційної роботи, перелік публікацій здобувача, програму і методику первинної повірки системи, копію патенту на винахід.

3. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень і висновків дисертації забезпечена використанням сучасних пристрій для досліджень, використанням апробованих коректних методів математичного моделювання, а також проведенням оцінювання похибки шляхом порівняння результатів вимірювань з властивостями еталонних матеріалів.

Апробація основних наукових положень дисертації проведена на 8 міжнародних та всеукраїнських науково-технічних і науково-практичних конференціях, що відповідають тематиці роботи.

4. Значущість роботи для науки і практики.

4.1 Наукова новизна одержаних результатів.

1. Вперше запропоновано метод визначення теплоти випаровування при сушінні колоїдних капілярно-пористих матеріалів, який базується на прямому вимірюванні підведеної кондуктивним способом теплоти, що дозволило експериментально встановити факт одночасного випаровування вільної та зв'язаної вологи при зневодненні рослинних матеріалів.
2. Вперше шляхом математичного моделювання калориметричної платформи досліджено вплив теплофізичних характеристик та геометричних розмірів

на похибку визначення ефективної теплоти випаровування, що дозволило розробити рекомендації з вибору матеріалу та розмірів платформи, а також параметрів сенсорів теплового потоку.

3. Вперше проведено оцінку впливу неідентичності умов теплообміну в комірках диференціального калориметра внаслідок зниження температури поверхні зразка під час зневоднення та розроблено методи його компенсації, що забезпечило можливість зменшення похибки результату вимірювання.
4. Вперше запропоновано метод і засіб визначення коефіцієнту теплообміну зразка з середовищем при дослідженні теплоти випаровування рідин з неоднорідних матеріалів, що дозволило зменшити похибку визначення теплоти випаровування вологих матеріалів, які деформуються при сушінні.
5. Вдосконалено метод передавання одиниці теплового потоку по місцю з використанням еталонного сенсора теплового потоку та ряду теплових колекторів різної конфігурації, що забезпечило простежуваність вимірювань теплового потоку сенсорами, вбудованими у прилад.

4.2 Практичне значення одержаних результатів.

1. Розроблено рекомендації щодо створення засобів визначення теплоти випаровування, і систему визначення теплоти випаровування та теплоємності неоднорідних матеріалів.
2. Розроблено методики дослідження теплоємності та теплоти випаровування рідин з матеріалів різної структури.
3. Запропоновано конструкцію теплового блоку системи, що забезпечує компенсацію неідентичності умов теплообміну в комірках шляхом прямого безконтактного вимірювання температури поверхонь зразка і референта.
4. Розроблено та створено спеціалізовані калориметричні платформи з комірками різної конструкції для дослідження матеріалів з різними характеристиками.
5. Запропоновано речовини з рекомендованими значеннями теплоти випаровування для порівняння при калібруванні системи за теплотою випаровування.
6. Проведено експериментальні випробування та отримані дані визначення теплоти випаровування та теплоємності матеріалів з різною структурою, серед яких харчові продукти рослинного та тваринного походження, будівельні та лакофарбові матеріали, елементи біопалива рослинного

походження, зразки лікарських рослин для фармацевтики, що забезпечило можливість оптимізації процесу їх сушіння та дослідження.

5. Повнота викладення основних результатів дисертації в наукових фахових виданнях.

Основні результати, отримані при виконанні дисертаційної роботи С.О. Іванова достатньо повно опубліковані у 23-х наукових працях, у тому числі у 7 статтях у наукових фахових виданнях України, з яких 3 статті - у виданнях, що індексуються у міжнародних наукометричних базах даних та 1 статті у закордонному виданні. Основні результати досліджень неодноразово обговорювалися на міжнародних та українських наукових конференціях. Зміст автореферату відповідає основним положенням дисертаційної роботи.

6. Зауваження щодо змісту й оформлення дисертації.

До дисертаційної роботи є низка зауважень:

1. У пункті 5 наукової новизни вказано: «Вдосконалено метод передавання одиниці теплового потоку по місцю з використанням еталонного сенсора теплового потоку та ряду теплових колекторів різної конфігурації, що забезпечило *вбудованим у прилад сенсорам теплового потоку простежуваність* до еталона». Коректним є формулювання: «..., що забезпечило простежуваність *вимірювань* теплового потоку сенсорами, *вбудованими у прилад*»

2. У дисертації розглянуті різні складові похибки вимірювання, однак в роботі відсутня систематизація цих складових і оцінка їх внеску у загальну похибку приладу.

3. У розділі 3 запропоновано застосування безконтактного інфрачервоного перетворювача температури, який має температурний діапазон експлуатації до $+85^{\circ}\text{C}$ при діапазоні вимірювань до $+380^{\circ}\text{C}$. Для цього перетворювача вказана абсолютна похибка $0,5^{\circ}\text{C}$ для діапазону від 0 до $+50^{\circ}\text{C}$. З огляду на ці данні виникають питання: по-перше, чи можлива експлуатація цього перетворювача у робочій камері, де температура може сягати 100°C і, по-друге, чи визначена або нормована похибка перетворювача для діапазону вимірювань від $+50$ до $+100^{\circ}\text{C}$?

4. При виконані роботи були проведенні дослідження теплоємності та теплоти випаровування вологи з низки різноманітних матеріалів. Було би доцільно провести оцінку невизначеності результатів цих вимірювань.

5. В розділі 2 дисертації наведено математичне моделювання розподілу теплового поля, проведено лише для платформи у вигляді пластини з пласкими калориметричними комірками на поверхні, а у 3 розділі серед інших розглянута платформа з глибокими циліндричними комірками. Чи оцінений вплив нерівномірного розподілу теплового поля у такій платформі на похибку вимірювань?

Слід зазначити, що вказані недоліки не зменшують наукової цінності дисертаційної роботи С.О. Іванова та не впливають на загальну позитивну оцінку проведених досліджень.

7. Висновок про відповідність дисертації встановленим вимогам

Дисертація С.О. Іванова в цілому представляє собою закінчене наукове дослідження, яке вирішує наукові та практичні завдання з розвитку теорії синхронного теплового аналізу та створенню системи визначення теплоти випаровування та теплоємності вологих матеріалів. Основні наукові результати роботи опубліковані у фахових виданнях, що входять до переліку видань, затвердженому МОН України та у виданнях, що входять до наукометричних баз. Автореферат дисертації в цілому відображує її зміст. Дисертація відповідає вимогам до оформлення кандидатських дисертацій.

Все вищеперечислене дозволяє стверджувати, що представлена робота відповідає вимогам до кандидатських дисертацій пп. 9, 11, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р. та внесеним до «Порядку...» змінам, а її автор, Сергій Олександрович Іванов заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.04 – прилади та методи вимірювання теплових величин (152 – метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка).

Офіційний опонент

кандидат технічних наук,

заст. начальника науково-виробничого відділу

ДП «Укрметртестстандарт»

О. О. Зайцева



Листина Зайцевої О. О. за свідчую:

Заступник начальника відділу

Управління персоналом Р. Демчук / Сагоменко