

## **ВІДГУК**

**офіційного опонента доктора технічних наук,  
професора Потапова Володимира Олексійовича**

на дисертаційну роботу Чижовича Романа Андрійовича «Закономірності фільтраційного сушіння вторинної сировини органічного походження»,  
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії  
за спеціальністю 161 Хімічні технології та інженерія,  
галузі знань 16 Хімічна інженерія та біоінженерія

**Актуальність теми дисертаційної роботи.** Тема дисертаційної роботи Чижовича Р.А. є надзвичайно актуальною, враховуючи сучасні екологічні виклики та економічні потреби України. Значна частина відходів харчової промисловості, зокрема відходи пивоварного, спиртового, олійного виробництв та інших галузей, складається з органічної вторинної сировини рослинного походження. Через високу вологість цих відходів їх утилізація є технічно складною, а відсутність ефективних технологій переробки призводить до накопичення відходів, забруднення довкілля і втрати цінних ресурсів.

Дослідження, спрямовані на покращення методів сушіння високовологих рослинних матеріалів, мають вирішальне значення для оптимізації процесів вторинного використання сировини. Запропонований у роботі підхід до попереднього осушення відходів із застосуванням методу фільтраційного сушіння є перспективним з огляду на його високу енергоефективність, можливість масштабування та покращення фізико-хімічних властивостей сировини для подальшого використання.

Окрім екологічного аспекту, результати роботи сприяють економічному розвитку підприємств харчової галузі, адже впровадження технологій сушіння дозволяє перетворювати відходи на корисні продукти, наприклад, біопаливо, кормові добавки чи інші матеріали промислового призначення. Це відповідає сучасним тенденціям сталого розвитку та раціонального використання ресурсів.

Дисертаційна робота виконана в рамках держбюджетної теми БФ-2-2023 (реєстраційний номер № 0123U104178) за напрямком «Створення взірців високоефективного альтернативного твердого палива з відходів харчової

промисловості рослинного походження», що додатково підтверджує актуальність та практичну цінність отриманих здобувачем результатів.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертаційна робота Чижовича Р.А. викладена на 154 сторінках тексту та складається з анотації, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних літературних джерел і додатку. Робота ілюстрована 24 таблицями та 49 рисунками. Список використаних джерел містить 122 найменувань.

Робота, що опонується, містить детальний огляд літератури за темою дисертації та великий об'єм експериментального матеріалу, що одержаний з використанням стандартних та апробованих методів досліджень.

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформовано мету, задачі, об'єкт та предмет дослідження, показано наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, а також подано дані про апробацію, публікації та особистий внесок дисертанта у проведених дослідженнях.

**У першому розділі** проведено критичний аналіз літературних джерел, присвячених основним принципам та особливостям сушіння вологих рослинних матеріалів органічного походження. Описано ключові механізми перенесення тепла та вологи, які визначають ефективність процесу осушення. Розглянуто поширені промислові методи сушіння, а також детально проаналізовано фільтраційний метод сушіння як вискоефективний і економічно доцільний, що має значний потенціал для обробки вологих органічних матеріалів. На основі проведеного аналізу сформульовано мету та завдання дисертаційної роботи.

**У другому розділі** проведено обґрунтування вибору дослідних матеріалів із вторинної рослинної сировини органічного походження, що утворюється на місцевих промислових підприємствах. Охарактеризовано основні фізико-хімічні параметри цієї сировини, які впливають на ефективність фільтраційного сушіння. Детально описано конструкцію та принцип роботи експериментальної установки, а також наведено методики аналізів і проведення експериментальних досліджень, виконаних у рамках дисертаційної роботи.

**У третьому розділі** досліджено гідродинаміку руху теплового агенту крізь стаціонарний шар вторинної рослинної сировини органічного походження. Отримано рівняння для визначення гідравлічного опору шару матеріалу у

діапазоні висот  $H=80\div 120$  мм із кроком 10 мм та  $H=90\div 110$  мм із кроком 5 мм при різних швидкостях потоку теплового агента в межах  $v_0=0,83\div 1,86$  м/с. Виконано комп'ютерне моделювання гідродинаміки потоку теплового агента через стаціонарний шар дисперсного матеріалу за допомогою програмного комплексу ANSYS Fluent, що підтвердило експериментальні результати щодо впливу швидкості руху агента на гідравлічний опір шару.

**У четвертому розділі** детально досліджено кінетичні закономірності процесу фільтраційного сушіння вторинної рослинної сировини органічного походження за різних технологічних параметрів. Вивчено вплив температури, швидкості теплового агента та висоти шару матеріалу на динаміку сушіння. Окрему увагу приділено аналізу фаз сушіння, зокрема періодам повного насичення теплового агента вологою, коли процес протікає інтенсивно і залежить від зовнішніх умов, та часткового насичення, де визначальним фактором стає внутрішньодифузійне перенесення вологи.

На основі експериментальних даних запропоновано математичні залежності, які дозволяють прогнозувати зміну вологовмісту матеріалу в часі. Ці розрахункові моделі враховують ключові параметри процесу та можуть використовуватися для оптимізації технологічного режиму сушіння. Окрім того, встановлено залежності, що описують тривалість сушіння в кожному з періодів, забезпечуючи точніший контроль за процесом та його адаптацію до конкретних умов.

**У п'ятому розділі** визначено технологічно раціональні параметри фільтраційного сушіння вторинної рослинної сировини органічного походження, використовуючи експериментальну установку. На основі отриманих результатів проведено розрахунок ефективності осушення рослинних відходів у промислових умовах із застосуванням фільтраційного сушіння, що базується на визначених оптимальних параметрах процесу.

Для оцінки доцільності та порівняння ефективності було виконано розрахунок сушарки барабанного типу, призначеної для осушення тих самих матеріалів із аналогічними вихідними параметрами. Результати порівняльного аналізу продемонстрували переваги фільтраційного методу сушіння, зокрема

його вищу економічну ефективність, менші енерговитрати та можливість досягнення необхідної якості осушеного матеріалу.

Отримані дані підтвердили, що впровадження фільтраційного сушіння не лише економічно вигідне, але й технологічно доцільне для використання у промислових масштабах, особливо для обробки вологих рослинних відходів органічного походження.

### **Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій.**

Наукові положення, висновки та рекомендації дисертаційної роботи коректно обґрунтовані та базуються на основних положеннях хімічної технології та закономірностях процесів сушіння дисперсних матеріалів. Достовірність отриманих експериментальних даних підтверджується використанням стандартних та апробованих методик визначення фізико-хімічних характеристик вторинної рослинної сировини органічного походження. Для підтвердження результатів застосовано сучасні методи комп'ютерного моделювання, зокрема використання програмного комплексу ANSYS Fluent для аналізу гідродинаміки під час процесу фільтраційного сушіння. Крім того, проведено серію експериментальних досліджень на спеціалізованій експериментальній установці з відтворенням реальних технологічних умов. Достовірність і обґрунтованість одержаних результатів також підтверджується їх апробацією на міжнародних конференціях (2022–2024 рр.).

### **Наукова новизна одержаних результатів:**

- Отримано значення коефіцієнтів для розрахунку гідравлічного опору шару дисперсної вторинної рослинної сировини органічного походження за встановлених параметрів сушіння;
- Проведено комп'ютерне моделювання гідродинаміки руху теплового агенту через матеріал за допомогою ANSYS Fluent з метою узагальнення експериментальних даних та перевірки коректності проведених досліджень;
- Встановлено кінетичні закономірності осушення вторинної рослинної сировини фільтраційним методом та визначено вплив температури, швидкості теплового агенту та висоти шару на видалення вологи;
- Отримано розрахункові залежності для опису зміни вологовмісту і тривалості процесу сушіння;

- Визначено технологічно раціональні параметри фільтраційного сушіння для промислового використання;

### **Практична значимість одержаних результатів дисертаційної роботи.**

Узагальнення теоретичних та експериментальних досліджень процесу фільтраційного сушіння вторинної рослинної сировини органічного походження дозволило розробити розрахункові залежності, які можуть бути використані для прогнозування кількох важливих параметрів процесу. Зокрема, ці залежності дають змогу точно оцінити зміну вологовмісту матеріалу в часі, визначити тривалість процесу сушіння та розрахувати гідравлічний опір стаціонарного шару під час осушення. Отримані дані дозволяють прогнозувати енергетичні витрати на сушіння, що є важливим для оцінки економічної доцільності впровадження цієї технології. Вони також допомагають визначити оптимальні технологічні параметри, що забезпечують високу інтенсивність сушіння, знижують витрати енергії та підвищують ефективність процесу.

Ці розрахункові залежності можна використовувати на реальному виробництві для оптимізації процесу фільтраційного сушіння вторинної рослинної сировини. Завдяки прогнозуванню енергетичних витрат і економічних параметрів можна ефективно налаштувати параметри сушарок та інших установок, що використовуються в промислових умовах. Це дозволяє знижувати енергетичні витрати, підвищувати продуктивність та зменшувати витрати на обробку матеріалів. Такі підходи можуть бути застосовані на різних підприємствах, що займаються переробкою рослинних відходів, зокрема на спиртових та пивоварних заводах, що сприяє поліпшенню технологічних процесів та зменшенню екологічного навантаження.

Практична значимість дисертаційної роботи підтверджена актом впровадження у виробництво на ТОВ «Вузлівський спиртовий завод», а також актом впровадження в навчальний процес кафедри хімічної інженерії Національного університету «Львівська політехніка».

### **Повнота викладення основних результатів досліджень в опублікованих працях.**

Основні результати досліджень опубліковані у 17 наукових працях із них: 6 індексуються у наукометричних базах даних Scopus та Web of Science, одна – у

фахових виданнях України, 2 розділи монографій і 8 тез доповідей на міжнародних конференціях.

### **Дискусійні положення та зауваження до дисертації:**

1. У роботі не наведено методики та результатів визначення фракційного складу дисперсної вихідної сировини.
2. У розділі “Методика визначення технологічно раціональних параметрів сушіння на експериментальній установці” наведені рівняння для визначення енергоспоживання під час фільтраційного сушіння, але відсутній опис методики вирішення оптимізаційної задачі для визначення раціональних параметрів сушіння.
3. У розділі “Розрахунок економічної ефективності фільтраційного сушіння вторинної сировини органічного походження” автором насправді розрахована тільки енергетична ефективність запропонованого способу сушіння. Для оцінки економічної ефективності потрібно було врахувати капітальні та експлуатаційні витрати і т.п.
4. Бажано було б винести таблиці з отриманими результатами розрахунків у додатки.
5. У розділі 4 трапляються різні числові вирази тих самих отриманих експериментальних даних, наприклад рис. 4.13 та табл. 4.3.

Зазначені зауваження мають дискусійний характер, вони не знижують наукову і практичну цінність дисертаційної роботи і не впливають на загальну позитивну оцінку.

### **Висновки щодо дисертаційної роботи.**

Результати аналізу дисертаційної роботи, анотації, опублікованих наукових праць дають підстави вважати, що дисертаційна робота Чижовича Р.А. «Закономірності фільтраційного сушіння вторинної сировини органічного походження» свідчить, є завершеним самостійним дослідженням.

За актуальністю, рівнем наукової новизни отриманих результатів, їхньою значимістю для науки та практики робота відповідає вимогам наказу МОН України №40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій» (зі змінами), Порядок присудження ступеня доктора філософії затвердженого Кабінетом Міністрів України № 44 від 12.01.2022 р. (зі змінами,

внесеними згідно з Постановою Кабінету Міністрів України від 03.05.2024 № 507), а її автор, Чижович Роман Андрійович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 16 – Хімічна інженерія та біоінженерія за спеціальністю 161 – Хімічні технології та інженерія.

Офіційний опонент,  
доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри інтегрованих  
електротехнологій та енергетичного  
машинобудування  
Державного біотехнологічного університету



Володимир ПОТАПОВ

Підпис Потапова К О  
**ЗАСВІДЧУЮ**  
Керівник відділу діловодства ДБТУ  
Потапова К О