

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

**Іващука Олександра Сергійовича**

«Наукові основи тепломасообмінних процесів під час виробництва альтернативного твердого палива з вторинної сировини рослинного походження»,  
представлену на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук  
за спеціальністю 05.17.08 – Процеси та обладнання хімічної технології

### **1. Актуальність теми дисертації**

Зважаючи на проблематику сьогодення, надзвичайно важливим є пошук альтернативних паливних джерел. На території України є великі обсяги вторинної енергетичної сировини рослинного походження. Це головним чином є побічні продукти промисловості – післяспиртова барда, пивна дробина, цукробуряковий та овочевий жом тощо. Перешкодою до використання такої сировини є її надлишкова вологість, що може бути усунута за допомогою сушіння. Дослідження тепломасообмінних закономірностей процесу сушіння енергетичної сировини рослинного походження дозволить прогнозувати та розраховувати витрати на проведення процесу, а встановлення теплотворних характеристик зразків альтернативного твердого палива на основі даної сировини дає відповідь на питання перспективності її використання.

Зважаючи на вищенаведене, вважаю, що тема дисертаційної роботи Іващука О.С., безумовно, є **актуальною**.

Дисертаційна робота виконана у межах пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки України, визначених Законом України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки», відповідно до плану науково-дослідних робіт кафедри хімічної інженерії Національного університету «Львівська політехніка», в рамках держбюджетної теми «Створення взірців високоефективного альтернативного твердого палива з відходів харчової промисловості рослинного походження» та за підтримки проекту Horizon Europe «Підтримка європейських досліджень і розробок через співпрацю із зацікавленими сторонами та інституційну реформу», що також свідчить про її **актуальність**.

### **2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій**

Аналіз результатів дисертаційної роботи свідчить про її високу наукову обґрунтованість. Наукова новизна та наукові положення, викладені у дисертаційній роботі є достатньо аргументованими і у повному обсязі підтверджені

експериментальними дослідженнями. Доказом достовірності та обґрунтованості наукових положень і висновків є узгодження результатів із загальновідомими положеннями та між собою. Достовірність одержаних результатів забезпечується використанням стандартних методик, методів фізичного, математичного і комп'ютерного моделювання та обробкою експериментальних даних із використанням прикладних програмних пакетів та спеціалізованого програмного забезпечення.

Автор, Іващук О.С., провів ґрунтовне дослідження гідродинаміки та кінетики тепломасообмінних процесів фільтраційного сушіння рослинної сировини. Поставлена мета та завдання роботи – розроблення теоретичних основ гідродинаміки та кінетики тепломасообмінних процесів фільтраційного сушіння перспективної вторинної сировини рослинного походження, створення на її основі зразків альтернативного твердого палива, дослідження основних характеристик зразків альтернативного твердого палива на основі вторинної сировини рослинного походження, а також розроблення апаратурного оформлення для сушіння вторинної сировини рослинного походження – повністю досягнуті. Висновки роботи підтверджені результатами експериментів та опублікованими науковими працями.

### **3. Наукова новизна дисертаційної роботи.**

Важливим науковим результатом роботи є розвиток теоретичних уявлень про гідродинаміку стаціонарного шару вторинної рослинної сировини під час фільтраційного сушіння та кінетику процесу. Зокрема, автором визначено критеріальні залежності, доповнені геометричним симплексом, які характеризують внутрішню задачу гідродинаміки та визначені невідомі коефіцієнти модифікованого рівняння Ергана для досліджених матеріалів. Визначено розрахункові залежності, які дають змогу прогнозувати швидкість видалення вологи та час досягнення кінцевої вологості досліджуваних матеріалів.

Окрім того, у процесі виконання роботи автором вперше експериментально досліджено гідродинаміку, кінетику і динаміку фільтраційного сушіння семи різних за формою і структурною будовою частинок вторинної сировини рослинного походження та вплив на швидкість видалення вологи за різної висоти шару висушуваного матеріалу, швидкості руху теплового агента та його початкової температури. Вперше отримано критеріальні рівняння для визначення коефіцієнтів зовнішнього теплообміну та коефіцієнтів масообміну у стаціонарному шарі для досліджуваних матеріалів. Вперше встановлено аналогію між зовнішнім теплообміном та масообміном з використанням числа Льюїса для досліджуваних матеріалів. Автором вперше отримано теоретичні залежності, які дають змогу для досліджуваних матеріалів визначати коефіцієнти внутрішньої дифузії під час фільтраційного сушіння, а також математичні залежності, які описують зміну

вологовмісту вторинної сировини рослинного походження в часі та тривалість процесу фільтраційного сушіння за різних параметрів процесу: висоти шару вологого матеріалу, температури теплового агента, швидкості руху теплового агента. Також автором вперше досліджено основні енергетичні характеристики зразків альтернативного твердого палива із осушеної фільтраційним методом вторинної сировини рослинного походження.

#### 4. Практична цінність результатів дисертаційної роботи

Завдяки узагальненню проведених теоретичних та експериментальних досліджень фільтраційного сушіння вторинної сировини рослинного походження та виготовлення з неї альтернативного твердого палива були отримані результати, висновки та рекомендації, які дають змогу:

- прогнозувати гідравлічний опір шару та енергетичні витрати на створення перепаду тиску під час фільтраційного сушіння для кожного дослідженого матеріалу;
- використовувати одержані критеріальні рівняння гідродинаміки руху теплового агента крізь шар вторинної сировини рослинного походження під час процесу фільтраційного сушіння для комп'ютерного моделювання процесу за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення ANSYS Fluent;
- прогнозувати зміну вологовмісту у часі для кожного дослідженого матеріалу та тривалість процесу фільтраційного сушіння;
- зважаючи на одержані дані про основні енергетичні характеристики альтернативного твердого палива з дослідженої вторинної сировини рослинного походження, рекомендувати його практичне використання;
- на основі розроблених алгоритмів розрахунку питомих енергетичних витрат процесу фільтраційного сушіння визначати технологічно доцільні параметри процесу та економічну ефективність осушення вторинної сировини рослинного походження фільтраційним методом для промислового використання.

Практична реалізація одержаних результатів додатково підтверджена патентом України на винахід, впровадженням результатів дисертації у виробництво ТОВ «Інтер-Синтез» (м. Борислав), а також передачею результатів досліджень для впровадження у виробництво ТОВ «Вузлівський спиртовий завод» (с. Вузлове, Львівська обл.), ТзОВ «Пивоварня «Кумпель» (м. Львів), СП «Галка ЛТД» (м. Львів), ТОВ «Вітагро Біо-Трейд» (с. Нагірянкa, Тернопільська обл.), ТОВ «Крафтове пиво» (с. Кваси, Закарпатська область), що підтверджено відповідними актами.

Основні положення дисертаційної роботи впроваджено у навчальний процес Національного університету «Львівська політехніка» для підготовки студентів зі спеціальностей 161 Хімічні технології та інженерія та 181 Харчові технології.

## **5. Структура та зміст дисертаційної роботи**

Дисертаційна робота Іващука Олександра Сергійовича є завершеною науковою працею, що складається зі вступу, семи розділів, висновків, списку використаних літературних джерел та додатків. Дисертація викладена на 423 сторінках, з яких 357 сторінок основного тексту, що містять 258 рисунків, 108 таблиць, та додатки на 49 сторінках.

Дисертаційна робота за структурою, мовою та стилем викладення відповідає вимогам до дисертаційних робіт МОН України (наказ № 40 від 12.01.2017 р. (із змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства освіти і науки України № 759 від 31.05.2019 р.).

## **6. Публікації за темою роботи та апробація одержаних результатів**

Достовірність одержаних автором результатів підтверджується значним числом публікацій у наукових виданнях, серед них 45 публікацій, з яких 16 наукових статей у наукометричних базах даних Scopus та Web of Science (з них 3 – Q1), 6 статей у фахових виданнях України, 4 розділи у колективних монографіях, 18 тез доповідей та 1 патент України на винахід.

## **7. Загальна характеристика роботи**

У **вступі** висвітлено актуальність наукової проблеми, яка вирішується у дисертаційній роботі, наведено мету і задачі дослідження, сформульовано наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, наведено відомості щодо особистого внеску здобувача, апробації результатів досліджень, публікацій, структури дисертації.

У **першому розділі** «Критичний аналіз джерел літератури щодо підготовки та використання вторинної сировини рослинного походження як альтернативного твердого палива та пов'язаних тепломасообмінних процесів» описано сучасний стан використання твердого палива, наведено обґрунтування перспективності використання вторинної сировини рослинного походження як альтернативного твердого палива, виконано аналіз тепломасообмінних процесів, що стосуються процесу фільтраційного сушіння вологих матеріалів.

У **другому розділі** «Характеристика об'єктів досліджень. Методики проведених експериментальних досліджень. Опис апаратури та обладнання» наведено інформацію щодо основних характеристик досліджуваної вторинної сировини рослинного походження та наведено її основні характеристики. Описано експериментальну установку фільтраційного сушіння та принцип її роботи.

Наведено методики проведення експериментальних досліджень та опис використаного обладнання.

**Третій розділ** «Гідродинаміка під час фільтраційного сушіння вторинної сировини рослинного походження» описує результати експериментальних досліджень гідродинаміки руху потоку теплового агенту крізь стаціонарний шар вторинної сировини рослинного походження під час процесу фільтраційного сушіння. Отримано залежності для визначення гідравлічного опору стаціонарного шару дослідженої вторинної сировини рослинного походження. Виконано комп'ютерне моделювання гідродинаміки руху потоку теплового агенту через стаціонарний шар вторинної сировини рослинного походження. Виконано узагальнення залежностей критерію Ейлера від критерію Рейнольдса для руху теплового агенту крізь стаціонарний шар вторинної рослинної сировини.

У **четвертому розділі** «Кінетичні закономірності фільтраційного сушіння вторинної сировини рослинного походження» виконано експериментальні дослідження для встановлення кінетичних закономірностей процесу фільтраційного сушіння. Отримано розрахункові залежності для визначення зміни вологовмісту досліджуваного матеріалу у часі та тривалості процесу фільтраційного сушіння для всіх досліджених матеріалів. Визначено, що відносні відхилення відповідності експериментальних даних до теоретично розрахованих є допустимими для практичних розрахунків сушильного обладнання. Досліджено закономірності інтенсивності фільтраційного сушіння дослідженої вторинної сировини рослинного походження.

**П'ятий розділ** «Визначення основних тепломасообмінних коефіцієнтів для фільтраційного сушіння вторинної сировини рослинного походження» присвячено визначенню тепло- та масообмінних коефіцієнтів під час фільтраційного сушіння досліджених матеріалів. Експериментальні дані узагальнено визначеними залежностями критеріїв Нуссельта та Шервуда для усіх досліджених матеріалів. У розділі показано подібність коефіцієнтів тепло- та масовіддачі з використанням числа Льюїса під час процесу фільтраційного сушіння. Визначено коефіцієнти внутрішньої дифузії для усіх досліджених матеріалів розрахункові залежності їх визначення залежно від температури теплового агенту.

У **шостому розділі** «Дослідження енергетичних характеристик альтернативного твердого палива із вторинної сировини рослинного походження» виконано дослідження альтернативного твердого палива із підготованої вторинної сировини рослинного походження: визначено теплотворні характеристики несформованої вторинної сировини рослинного походження, а також створених брикетованих і гранульованих зразків. Встановлено перспективність використання досліджуваної вторинної сировини рослинного походження як альтернативного

твердого палива. Показано, що виготовлені брикетовані зразки відповідають існуючим вимогам європейських стандартів до твердого палива.

У сьомому розділі «Економічні аспекти використання альтернативного твердого палива на основі вторинної сировини рослинного походження» визначено технологічно доцільні параметри процесу фільтраційного сушіння досліджених матеріалів на основі експериментальних даних. Запропоновано апаратурне оформлення процесу фільтраційного сушіння вторинної сировини рослинного походження у промисловості. Запропоновано алгоритм розрахунку питомих енергетичних показників процесу фільтраційного сушіння вторинної сировини рослинного походження для промислового проведення процесу. Розраховано питомі енергетичні витрати для усіх досліджених матеріалів вторинної сировини рослинного походження для промислового проведення процесу та визначено ефективність використання процесу фільтраційного сушіння порівняно із розповсюдженим методом сушіння біомаси.

**Висновки** дисертаційної роботи є ґрунтовними, базуються на результатах експериментальних досліджень, висвітлюють наукову новизну та практичну цінність роботи.

#### **8. Відсутність порушення академічної доброчесності**

Рукопис містить результати власних досліджень Іващука О.С. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають покликання на відповідне джерело. Елементи фальсифікації чи фабрикації тексту в роботі відсутні.

**9. Ідентичність змісту реферату і основних положень дисертації** підтверджується у повній мірі. Реферат містить лише положення, які є у тексті рукопису дисертації. Дисертаційна робота не містить результатів, які відображені у кандидатській дисертації.

#### **10. Зауваження та дискусійні положення**

1. У літературному огляді варто було приділити увагу порівнянню переваг та недоліків різних методів сушіння.

2. Потребує пояснення чому по тексту дисертації одиниці вимірювання температури подано як у градусах Цельсія, так і градусах Кельвіна (розділ 5).

3. В дисертаційній роботі не наведено склад газів, що утворюються під час спалювання альтернативного твердого палива з вторинної сировини рослинного походження та наявність у них шкідливих речовин (розділ 6).

4. Для оцінки економічної ефективності варто було врахувати додатково логістичні, капітальні та експлуатаційні витрати, а також вартість вихідної вторинної сировини рослинного походження (розділ 7).

5. При порівнянні розрахунків енергетичної ефективності запропонованої промислової установки фільтраційного сушіння та барабанної сушарки не враховано витрати енергії на приведення в рух стрічки транспортеру та обертання барабану (розділ 7).

Однак вказані зауваження не зменшують наукової новизни та практичної цінності дисертаційної роботи, не стосуються самої суті роботи, носять дискусійний та рекомендаційний характер.

### **Висновок**

Дисертаційна робота Іващука Олександра Сергійовича «Наукові основи тепломасообмінних процесів під час виробництва альтернативного твердого палива з вторинної сировини рослинного походження» відповідає паспорту спеціальності 05.17.08 – Процеси та обладнання хімічної технології (Перелік наукових спеціальностей, затверджений Наказом Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України від 14 вересня 2011 року №1057) та вимогам, які ставляться до робіт на здобуття наукового ступеня доктора наук згідно пп. 7–9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 року №1197, а її автор, Іващук Олександр Сергійович, **заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук** за спеціальністю 05.17.08 – Процеси та обладнання хімічної технології.

Офіційний опонент,  
заступник директора з наукової роботи  
Державної установи «Інститут харчової  
біотехнології та геноміки НАН України»,  
д.т.н., с.н.с., професор

  
Сергій ЦИГАНКОВ

