

61-42-85/1  
29.04.2021

## ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу Цюри Надії Ярославівни на тему:

**«Сумісний процес фільтрування та сушіння дисперсних матеріалів»,**

подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

за спеціальністю 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології

### **Актуальність теми дисертаційної роботи.**

За своєю суттю сушіння є складним тепломасообмінним процесом, що вимагає значних енергозатрат, зниження яких є особливо важливим завданням в умовах сучасної економічної, екологічної та енергетичної кризи. Тому дисертаційна робота Цюри Н.Я. присвячена вирішенню важливої актуальної задачі - дослідженню процесу сушіння дисперсних матеріалів, частка яких становить 80% від усіх матеріалів, які підлягають висушуванню в різних галузях промисловості, зокрема в хімічній. Як енергоефективний спосіб зневоднення дисперсних матеріалів досліджується фільтраційне сушіння, яке застосовується для дегідратації Fe(II) сульфат гептагідрату, залізоокисного пігменту  $\alpha$ -FeO(OH) та відпрацьованого деревного борошна. Під час виробництва пігментного Титану (IV) оксиду сульфатним способом на 1 т готового продукту в середньому утворюється відходів: 6 т Fe(II) сульфат гептагідрату (залізного купоросу), 100 м<sup>3</sup> кислих стоків, 20 т гідролізної кислоти, 0,5 т чорного шламу, тобто кількість відходів у багато разів перевищує кількість готового продукту. Тому є перспективним і актуальним використання цих відходів для одержання додаткових продуктів або повернення їх у виробничий цикл, що дасть змогу покращити екологічність підприємства та отримати додатковий прибуток. Ці актуальні проблеми розглянуті в цій дисертаційній роботі.

Актуальність дисертаційної роботи підтверджується ще й тим, що вона виконана за планом науково-дослідних робіт, які проводилися згідно з науковим напрямком кафедри хімічної інженерії Національного університету "Львівська політехніка" згідно із зареєстрованими тематиками: "Дослідження процесів тепломасообміну в системах з твердою фазою" (номер державної реєстрації 0112U007340) та "Гідродинаміка і тепломасообмін в системі тверде тіло - газ, тверде тіло – рідина" (номер державної реєстрації 0117U004122).

**Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації** базується на критичному аналізі вітчизняних та іноземних джерел літератури (160 найменувань) за даною проблемою, гармонійній постановці мети і задач дослідження, використанні сучасних методів досліджень, а саме: методу фізичного та математичного моделювання процесу фільтраційного сушіння дисперсних матеріалів; пікнометричного та мікроскопічного методів визначення гранулометричного складу досліджуваних матеріалів, форми та будови окремих частинок шару; методу теплофізичного моделювання процесу тепломасообміну. Здобувачем проведено комп'ютерне опрацювання експериментальних даних за допомогою пакету прикладних програм (Excel, Graf4Win, Corel Draw, MathCAD). Окремі результати дисертації узгоджені з

відомими в літературі експериментальними та теоретичними результатами для часткових випадків. Усі наукові результати дисертаційної роботи належать особисто здобувачеві. Сформульовані в дисертаційній роботі висновки всебічно аргументовані, пройшли достатню апробацію презентацією матеріалів дослідження на конференціях та в публікаціях в фахових журналах.

**Наукова новизна отриманих результатів.** На основі отриманих результатів теоретичних та експериментальних досліджень процесу дегідратації Ферум(II) сульфат гептагідрату до тетрагідрату та сушіння відпрацьованого деревного борошна й залізоокисного пігменту фільтраційним способом у дисертаційній роботі отримали подальший розвиток теоретичні аспекти гідродинаміки стаціонарного шару дисперсних матеріалів та кінетики фільтраційного сушіння. Вперше отримані критеріальні залежності та визначені коефіцієнти гідравлічного тертя у стаціонарному шарі Ферум(II) сульфат гептагідрату, відпрацьованого деревного борошна й залізоокисного пігменту. Визначені коефіцієнти тепловіддачі та отримані залежності, які дають змогу прогнозувати процес теплообміну під час фільтраційного сушіння Ферум(II) сульфат гептагідрату. Запропоновані залежності для розрахунку тривалості процесу фільтраційного сушіння досліджуваних матеріалів; розроблена методика розрахунку установки фільтраційного сушіння.

**Практичне значення отриманих результатів.** На основі проведених узагальнень результатів досліджень автором запропоновані критеріальні залежності гідродинаміки та теплообміну процесу дегідратації Ферум(II) сульфат гептагідрату, відпрацьованого деревного борошна й залізоокисного пігменту під час фільтраційного сушіння в стаціонарному шарі, що дають змогу прогнозувати інтенсивність процесу, обирати параметри теплового агенту для забезпечення економічної доцільності на етапі проектування сушильного обладнання.

Для можливості реалізації процесу фільтраційного сушіння вказаних матеріалів у промислових умовах автором розроблена принципова схема сушильної установки, яка захищена патентом України на винахід, а також представлена методика розрахунку її основних конструктивних розмірів, що дасть змогу зменшити витрати енергії та отримати якісні продукти із заданою кінцевою вологістю, підвищити економічні показники титанового виробництва й синтезу пігментів на основі заліза. Практична реалізація отриманих результатів дисертаційної роботи полягає у передачі результатів досліджень ДП «Аргентум» та ТзОВ «Галвесттрейд» для впровадження у виробництво технології фільтраційного сушіння, а також для подальшого використання висушених матеріалів. Результати наукових досліджень передані для впровадження в навчальному процесі кафедри хімічної інженерії Національного університету «Львівська політехніка», а саме: розроблена методика розрахунку фільтраційної сушарки для використання у лекційних, лабораторних та практичних заняттях з курсу «Процеси та апарати хімічних виробництв», а також під час курсового та дипломного проектування для студентів спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія».

**Повнота викладу наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих в дисертації в опублікованих працях.** Результати наукових досліджень, здобутих у процесі виконання дисертаційної роботи, опубліковані автором у 14 наукових працях, серед них: 5 статей у наукових фахових виданнях України, 1 – у виданнях інших держав, 1 патент України на винахід, 7 тез доповідей на всеукраїнських і міжнародних науково-практичних конференціях. Наведений у публікаціях матеріал достатньо повно відображає основні результати та наукові положення дисертаційної роботи.

### **Оцінка змісту дисертаційної роботи.**

Дисертаційна робота складається із анотації українською та англійською мовами, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, який охоплює 160 найменувань, і додатків. Роботу викладено на 151 сторінці основного тексту, містить 69 рисунків, 15 таблиць та додатки на 10 сторінках.

Оформлення дисертаційної роботи в цілому відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року № 567. Робота оформлена акуратно, малюнки та формули створені за допомогою відповідних пакетних програмних продуктів. Матеріал дисертації викладено в послідовності, що відповідає поставленим задачам в роботі. Стиль викладення наукового матеріалу забезпечує його чітке розуміння.

Автореферат ідентичний за змістом з основними положеннями дисертації і достатньо повно відображає основні її наукові результати, отримані здобувачем. Він не містить інформації, яка відсутня в дисертації

Зміст дисертації (мета, задачі досліджень, методи досліджень, висновки, область використання, впровадження) відповідають паспорту спеціальності 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології.

**У вступі** обґрунтовується актуальність теми дисертації, зазначається зв'язок роботи з науковими програмами, визначається мета та задачі дослідження, об'єкт, предмет та методи досліджень, наукова новизна отриманих результатів та їх практичне значення. Обсяг і форма вступу відповідають вимогам до кандидатських дисертацій та достатні для попереднього ознайомлення зі змістом положень, що виносяться здобувачем на захист.

**У першому розділі** висвітлений критичний аналіз науково-технічної та патентно-інформаційної літератури щодо фільтраційного сушіння дисперсних матеріалів, зокрема щодо гідродинаміки фільтрування газового потоку крізь стаціонарний шар дисперсних матеріалів, тепломасообміну та кінетики. На основі проведеного огляду сформульовано основні напрями та завдання теоретичних і експериментальних досліджень.

**У другому розділі** наведені основні фізико-хімічні характеристики Fe(II) сульфат гептагідрату, відпрацьованого деревного борошна й залізоокисного пігменту, які вибрано в ролі об'єктів досліджень; обґрунтована доцільність застосування фільтраційного методу для дегідратації та сушіння вказаних об'єктів; представлено принципову схему експериментальної установки для дослідження гідродинаміки, тепло- та масообміну, кінетики та динаміки

видалення вологи, описано методики досліджень, а також методики оцінки похибок вимірювання.

У третьому розділі наведені основні фізико-механічні характеристики стаціонарного шару досліджуваних об'єктів, які визначені експериментально і мають вплив на гідродинаміку процесу фільтраційного сушіння. Наведені результати досліджень закономірностей гідродинаміки профільовування теплового агенту крізь стаціонарний шар Ферум(II) сульфат гептагідрату, органічних відходів виробництва Титану (IV) оксиду та залізоокисного пігменту показують, що гідравлічний опір шару досліджуваних матеріалів є незначним, що дає змогу успішно застосовувати фільтраційний метод.

Для визначення гідравлічного опору стаціонарного шару досліджуваних об'єктів автором використано кілька способів: взято до уваги як внутрішню, так і зовнішню задачу гідродинаміки, розрахунок втрат тиску проведений відповідно до залежності Дарсі-Вейсбаха та модифікованого рівняння Ергана, після чого проведений порівняльний аналіз отриманих результатів і зроблені висновки щодо застосування кожного з методів. На основі узагальнення експериментальних даних автором отримані важливі з точки зору практичного використання розрахункові залежності, що дають змогу прогнозувати втрати тиску під час фільтраційного сушіння досліджуваних матеріалів, які рекомендується використовувати на стадії проектування сушильного обладнання за подібних гідродинамічних умов.

Важливим щодо вирішення поставлених у роботі задач є **четвертий розділ**, у якому наведені результати дослідження зразків Ферум (II) сульфат гептагідрату методом термічного аналізу, що дали змогу встановити механізм постадійного відщеплення молекул кристалізаційної води, провести розрахунок теплового ефекту плавлення та дегідратації, а основне – здійснити обґрунтований вибір температурного режиму дегідратації Fe(II) сульфат гептагідрату до утворення Fe(II) сульфат тетрагідрату.

На основі наведених у розділі результатів дослідження теплообміну між тепловим агентом та частинками Fe(II) сульфат гептагідрату встановлено вплив швидкості руху теплового агенту на ефективність нагрівання стаціонарного шару матеріалу та визначені значення коефіцієнтів тепловіддачі. Узагальнення експериментальних результатів представлене у вигляді критеріального рівняння, яке може бути застосоване для обчислення теоретичних значень коефіцієнтів тепловіддачі з достатньо високою точністю.

Порівняно з іншими роботами, дисертантка виконала ґрунтовні дослідження кінетики фільтраційного сушіння Fe(II) сульфат гептагідрату, залізоокисного пігменту та відпрацьованого деревного борошна. Це дало можливість інтенсифікації процесу за зростання температури та швидкості профільовування теплового агенту. На кінетичних кривих розрізняються періоди повного й часткового насичення теплового агенту вологою, а у випадку деревного борошна спостерігається ще й механічне винесення вільної вологи без затрат теплової енергії. На основі узагальнення результатів досліджень трьох дисперсних матеріалів, автором запропоновано кінетичні рівняння, що описують зміну вологовмісту кожного з них у періодах повного та часткового насичення вологою теплового агенту.

Завершальним є п'ятий розділ дисертації, у якому представлена схема установки для промислової реалізації сушіння дисперсних матеріалів, яка розроблена з врахуванням результатів досліджень гідродинаміки та кінетики фільтраційного сушіння досліджуваних матеріалів, і на яку отримано патент України на винахід. Автором роботи здійснені основні технологічні розрахунки для проектування установки фільтраційного дисперсних матеріалів та представлено методика її розрахунку, а також проведений розрахунок енергетичних затрат на реалізацію процесу фільтраційним методом для досліджуваних матеріалів.

У висновках викладено основні результати дисертаційної роботи, які відповідають меті й поставленим задачам.

Список використаних джерел літератури відображає найбільш значущі наукові роботи, пов'язані безпосередньо з тематикою дисертації.

У додатках наведені акти впровадження результатів дисертаційної роботи у виробництво, результати розрахунку процесу сушіння відпрацьованого борошна та залізоокисного пігменту на запатентованій установці, а також список публікацій здобувача за темою дисертації.

#### **Щодо автореферату та дисертаційної роботи є такі зауваження:**

1. У роботі доцільно було б навести температурні криві процесу сушіння дисперсних матеріалів.
2. У третьому розділі представлені результати дослідження гідродинаміки профільтровування теплового агенту крізь стаціонарний шар дисперсних матеріалів. Для залізного купоросу вивчається як зовнішня, так і внутрішня задачі гідродинаміки, а для двох інших матеріалів – тільки зовнішня. Варто було б дослідити і внутрішню задачу або дати пояснення чому знехтували такими дослідженнями.
3. Авторка використовує графо-аналітичний метод для визначення невідомих коефіцієнтів. Вважаю, що для узагальнення результатів дослідження кінетики фільтраційного сушіння варто було б скористатися такими сучасними програмними комплексами як SOLIDWORKS Simulation, Comsol або ANSYS.
4. У другому розділі наведені деякі методики досліджень, які належать до стандартних (визначення гранулометричного складу, насипної густини тощо). На мою думку, достатньо було б навести посилання на них у інших джерелах або подати в додатках.
5. У дисертаційній роботі не вказано який тепловий агент буде використаний у промислових умовах, оскільки нагріте повітря – доволі дорогий тепловий агент і у випадку сушіння залізного купоросу може спричинити окислення Феруму(II).
6. Не зрозуміло на основі яких міркувань вибрана висота шару матеріалу 60-100 мм під час проектування промислової установки фільтраційного сушіння, схема якої наведена на рис. 5.1.
7. Також у дисертаційній роботі є ряд описок та граматичні помилки. Зокрема, зустрічаються однакові умовні позначення різних фізичних величин, зокрема  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності і  $\lambda$  – коефіцієнт гідравлічного тертя; А як функція геометричного симплексу  $H/de$  і А як коефіцієнт в кінетичних рівняннях (4.14), (4.36), (4.41)

Вказані зауваження не мають принципового характеру та не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи.

Довідка про результати перевірки роботи на академічний плагіат рукопису дисертації Цюри Н.Я. однозначно свідчить про **відсутність порушення академічної доброчесності**.

**Висновок.** Дисертаційна робота Цюри Н.Я, в якій отримані нові науково обґрунтовані результати, які в сукупності вирішують важливу науково-прикладну задачу щодо підвищення ефективності процесу сушіння дисперсних матеріалів за актуальністю, новизною, ступенем обґрунтованості і достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, значенням для науки і практики, повнотою викладення в опублікованих працях є завершеною науковою працею і відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12, 13 "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, щодо кандидатських дисертацій, а її автор Цюра Надія Ярославівна заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології.

**Офіційний опонент**

д.т.н., професор, професор кафедри  
інформаційних технологій  
Національного лісотехнічного  
університету України

Я.І. Соколовський



З А В І Р Я Ю  
Директор відділу кадрів  
Національного лісотехнічного  
університету України  
24 липня 2013 р. Підпис