**ВІДЗИВ**

офіційного опонента на дисертаційну роботу

**Артюхової Надії Олександрівни**

**«Сушіння дисперсних матеріалів у багатоступеневих поличних апаратах з активним гідродинамічним режимом»,**

представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології

**Актуальність роботи.** На сьогодні вітчизняні підприємства потребують модернізації масообмінного, зокрема, сушильного обладнання. Підвищення ефективності сушильних апаратів, що знайшли використання для потреб хімічної, харчової, фармацевтичної та інших галузей промисловості, та можливість зменшення їх габаритних розмірів стали актуальними питаннями.

Використання сучасних досягнень науки і техніки повинно збільшити кількість нових та модернізованих виробництв, що діють за принципом енергоощадливості та раціонального використання природних ресурсів.

Враховуючи значний вплив конструктивного оформлення і технологічних параметрів роботи сушильного обладнання на його габарити, останнім часом ведуться пошуки нових високоефективних способів здійснення процесу зневоднення.

Більшість матеріалів, що піддаються сушінню, являють собою дисперсні фази органічного та неорганічного походження. Для зневоднення таких систем широке застосування знайшов метод конвективного сушіння при безпосередньому контакті сушильного агенту з вологим дисперсним матеріалом. Реалізація такого методу здійснюється в апаратах різноманітних конструкцій залежно від властивостей початкової вологості матеріалу та необхідної якості кінцевого продукту. Хоча енерговитрати під час сушіння конвективним способом не є найнижчими, але за рахунок інших численних переваг для сушіння дисперсних матеріалів найчастіше використовуються саме конвективні сушарки.

Узагальнення та зіставлення окремих результатів попередніх авторів у цій області дають можливість зменшити вплив факторів, що дестабілізують процес сушіння, запропонувавши нову конструкцію сушильних пристроїв зі стабільними гідро- та термодинамічними показниками за рахунок вертикального секціонування внутрішнього простору шляхом встановлення каскаду перфорованих полиць під деяким кутом; при цьому створюються умови гравітаційного руху матеріалу вздовж полиць та його пересипання з однієї полиці на іншу. На кожній з полиць в такій конструкції створюється ефективне перемішування, властиве зваженому шару, при збереженні переваг організованого протитечійного режиму.

Таким чином, необхідність вирішення цих завдань послужила підставою для постановки й проведення комплексного теоретичного й експериментального дослідження гідродинамічних показників роботи поличних сушарок та кінетики видалення вологи з дисперсних матеріалів в обладнанні такого типу.

Дисертаційна робота Артюхової Н.О. виконана в рамках наукового напряму досліджень кафедри процесів та обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв Сумського державного університету і виконувалась відповідно державних тематик «Розробка та дослідження високоефективних апаратів для процесів масообміну, кристалізації та класифікації» (номер державної реєстрації

ОДЕРЖАНО
Сумським державним університетом
Вх. №. 2508
27 11 2025

0110U001953) та «Дослідження гідродинаміки та процесів тепло- масообміну в апаратах з дисперсними фазами» (номер державної реєстрації 0115U002551).

Результати дисертаційної роботи використані та впроваджені у виробництво на ФГ «Яковлєва» у м. Мелітополь під час сушіння зерен соняшника і пшениці.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.** Наведені в дисертаційній роботі наукові положення, теоретичні висновки та практичні рекомендації викладені в логічній послідовності, є достатніми і належним чином обґрунтованими. Для їх отримання автором здійснено математичне моделювання, проведено фізичний експеримент, використано відповідні вітчизняні та іноземні літературні джерела з тематики дисертаційної роботи.

**Наукова новизна** дисертаційної роботи полягає у відкритті нових важливих закономірностей гідродинаміки руху потоків в багатоступеневих поличних апаратах зваженого шару і кінетики зневоднення дисперсного матеріалу та можливості управління режимом руху дисперсної фази і часом її перебування в об'ємі сушарки з отриманням основних геометричних характеристик робочого простору та поличних контактів сушарки на базі створених фізичної та математичної моделей.

**Достовірність результатів** дисертації і новизна висновків та рекомендацій не викликає сумнівів, підтверджується застосуванням сучасних вимірювальних приладів при проведенні експериментальних досліджень, використання фундаментальних положень теорії гідроаеромеханіки та тепломасообміну для аналізу результатів дослідження, використанням методів планування експерименту і статистичного аналізу для здобуття достовірних результатів, використанням математичного моделювання процесу на ЕОМ. Наукові положення і висновки, що сформульовані в дисертації, базуються на детальному й логічному аналізі узагальнень по темі дисертації, що наведені у літературних джерелах. Одержані в роботі результати не суперечать основним теоретичним положенням, відомим з літератури і класичних робіт, доповняють їх, є надійними.

**Повнота викладу основних наукових положень дисертації в опублікованих працях**. Результати дисертаційної роботи Артюхової Н.О. знайшли своє відображення у 13 друкованих працях у фахових наукових виданнях України. Всі публікації відображають зміст дисертації і досить повно освічують основні результати. Результати наукових досліджень докладались на міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференціях протягом 2009-2014 рр.

**Ідентичність змісту автореферату і основних положень дисертації** підтверджується у повній мірі. Автореферат повністю відповідає структурі досліджень, вони є ідентичними за своїм змістом.

**Структура та зміст роботи.** Дисертаційна робота Артюхової Н.О. є **завершеною науковою працею**, і складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних літературних джерел з 169 найменувань, додатків. Загальний обсяг дисертації становить 165 сторінок, серед яких 129 сторінок основного тексту.

**Перший розділ** присвячено огляду літературних джерел, проведенню патентного пошуку, аналізу стану розвитку технології сушіння та пошуку нових шляхів розвитку представленої галузі промисловості.

На основі розглянутих способів підвищення ефективності роботи сушарок зваженого шару та методів зменшення їх габаритних розмірів обґрунтовано можливість застосування в технології сушіння апаратів з каскадом полиць. У

результаті доведено актуальність теми досліджень, визначено мету роботи та поставлено задачу запропонувати нові способи сушіння, які б поєднували переваги, що властиві кожній із груп обладнання, які досліджено в розділі, вдосконалити динаміку руху потоків у робочому просторі апарата, отримати розрахункові залежності для визначення основних гідродинамічних і кінетичних характеристик потоків у сушарці.

**Другий розділ** присвячено опису методики та методології проведення теоретичних та експериментальних досліджень гідродинаміки руху потоків та кінетики сушіння у поличних сушарках. Представлена експериментальна база досліджень з конструкціям складових елементів. Приведено методики проведення експерименту та обробки даних. Проблема точності вимірів для даної фізичної системи була вирішена успішно.

**У третьому розділі** подано теоретичний опис гідродинаміки та кінетики сушіння дисперсних матеріалів в багатоступеневому поличному апараті зваженого шару.

Відповідно до системного підходу при розгляді процесу конвективної сушки дисперсних матеріалів загальна кінетична задача декомпозована на два основні підрівні: мікро- і макрокінетичний. На нижньому (мікрокінетичному рівні) розглядається кінетика сушіння одиничної частинки. На верхньому (макрокінетичному) підрівні враховуються умови стисненості руху частинки в апараті, розглядаються гідродинамічні закономірності руху потоків, особливості кінетики сушіння сукупності частинок у зваженому шарі, оцінюється ефективність ступенів сушарки залежно від її конструктивних особливостей (конструкції поличних контактів) та організації руху сушильного агента.

**У четвертому розділі** автором подано основні результати експериментальних досліджень. Розділ містить дані результатів експерименту, що присвячений гідродинаміці та кінетиці процесу сушіння в поличних апаратах зваженого шару. В результаті експериментальних досліджень автором отримані епюри розподілу швидкості руху газового потоку в надполичному просторі сушарки, основні режими руху дисперсного матеріалу, температурно-вологісні характеристики сушильного агента і дисперсного матеріалу. Одержані дані дають змогу визначити оптимальні умови процесу сушіння. Автором також отримано критеріальне рівняння процесу сушіння поліпропілену в поличній сушарці, що є певним вкладом у загальну теорію теплообміну в системі «газ-тверде тіло».

Результати роботи представлено у вигляді графічних залежностей зміни гідродинамічних характеристик руху потоків та кінетичних параметрів процесу сушіння, результатів візуального дослідження траєкторій руху дисперсної фази. Кількісно визначено характеристики, закладені в інженерний розрахунок апарату.

**П'ятий розділ** висвітлює результати аналізу теоретичних та експериментальних досліджень. Аналіз, проведений в даному розділі, визначив шляхи управління рухом дисперсної фази у робочому просторі поличної сушарки з метою забезпечення необхідного гідродинамічного часу перебування для повного прогріву та зневоднення матеріалу, що висушується.

Похибка між отриманими результатами складає 4-7 %, що припустимо для технічних розрахунків. Крім того, одержані експериментальні значення за припустимої розбіжності, що отримана за методом найменших квадратів, накладаються на результати теоретичного розрахунку.

В якості логічного завершення роботи надано методику інженерного розрахунку поличної сушарки та методику оцінювання енергетичної ефективності процесу зневоднення у зваженому шарі. На етапі дослідно-промислового впровадження апарату за рекомендаціями, що визначено в результаті математичного моделювання та експерименту, отримано продукт із заданими вологісними характеристиками та проведено порівняльну оцінку показників якості продукції, одержаної а апаратах-аналогах.

**У висновках** подано основні результати досліджень.

**У додатках** наведені блок-схема інженерного розрахунку сушарок з каскадом полиць, текст програми розрахунку температурно-вологісних характеристик сушильного агента і дисперсного матеріалу та акт дослідно-промислового впровадження наукових результатів та технологічних рекомендацій, отриманих у дисертаційній роботі.

**Характеристика змісту та рукопису дисертації.** Оформлення дисертаційної роботи відповідає вимогам, які пред'являються до текстової документації. Робота створює добре враження системним та послідовним розв'язанням комплексу питань. Дисертаційна робота відповідає спеціальності 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології. Зміст дисертаційної роботи відповідає профілю спеціалізованої вченої ради К 55.051.04 за вищевказаною спеціальністю.

**Важливість отриманих результатів дисертаційної роботи для науки та практики.** Досліджені здобувачем закономірності руху потоків в межах каскаду полиць сушарки і кінетики зневоднення дисперсного матеріалу знайшли своє відображення в створенні нових конструкцій сушильного обладнання, що підтверджено патентами України. Окрім цього, наведені здобувачем експерименти ставлять задачу подальших досліджень. Важливим прикладним результатом є розробка інженерної методики розрахунку поличних сушарок. Результати роботи знайшли практичне застосування при проектуванні дослідно-промислової установки для мало- та середньотонажних сушильних установок.

По дисертаційній роботі Артюхової Н.О. є наступні зауваження:

1. На с. 40 (рис. 2.2,б) на фото установка зображена без дозуючого пристрою і з незрозумілим підключенням в нижній частині апарату, що потребує окремого пояснення;
2. Час перебування дисперсних часток на полиці (с. 97) очевидно слід вважати сумою власне перебування на полиці (рис.3.6. с. 69) та в зоні над розвантажувальним зазором (рис.4.11, с.103) для стиснутого руху;
3. При описі експериментальних досліджень (с.103) з видалення вологи з поліпропілену не наведений діапазон досліджуваних параметрів його вологості та температури сушильного агента;
4. В тексті не вказано, чи можна за допомогою поліпропілену однозначно змоделювати зовнішню та внутрішню задачі тепломасообміну (с.106);
5. Відсутність конкретних даних по розмірам дослідно-промислової установки (с.133) утруднює аналіз випробувань;

Зазначені зауваження не впливають на позитивну оцінку даної дисертаційної роботи в цілому. Отримані результати мають обґрунтовану наукову новизну і практичну цінність. Дисертаційна робота написана науковою мовою, стиль викладу матеріалу ясний і послідовний. У роботі приведені таблиці, рисунки, що забезпечують повне і наочне представлення про роботу.

**Висновок**

В цілому дисертаційна робота Артюхової Надії Олександрівни «Сушіння дисперсних матеріалів у багатоступеневих поличних апаратах з активним гідродинамічним режимом» є самостійною завершеною працею, виконана на рівні вимог до кандидатських дисертацій у відповідності з п.11 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вчених звань» і направлена на отримання нових науково обґрунтованих теоретичних та експериментальних результатів для розвитку високоефективного сушильного обладнання багатоступінчастого типу.

На основі вищесказаного можна зробити висновок, що Артюхова Надія Олександрівна заслуговує присудження їй наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології.

Офіційний опонент,
директор ДП «Сумський державний НДІ
мінеральних добрив та пігментів»
к.т.н., с.н.с В. Вакал

ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО "СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ І ПІГМЕНТІВ" ДПСДНДІ МінДіп Ідентифікаційний код 14005076 УКРАЇНА