

ВІДГУК

офіційного опонента

доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри
теплогазопостачання і вентиляції

Національного університету “Львівська політехніка”

ЖЕЛИХА ВАСИЛЯ МИХАЙЛОВИЧА

на дисертаційну роботу **Микитенка Максима Руслановича**
«ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИСТКИ АСПІРАЦІЙНИХ
ВИКИДІВ ПІДВИЩЕНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ В СКРУБЕРАХ З
ДИСКОВИМИ РОЗПИЛЮВАЧАМИ»,

подану на здобуття наукового ступеня доктора

філософії в галузі знань 19 «Архітектура та

будівництво»,

за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

1. Актуальність обраної теми

Підвищення вимог до екологічної безпеки та жорсткіші нормативи щодо охорони довкілля зумовлюють потребу в удосконаленні технологій очищення газоповітряних потоків, особливо в умовах аспіраційних процесів. Значний обсяг пилових викидів утворюється під час переробки сировини, транспортування сипучих матеріалів і термічної обробки — характерних процесів для харчової, деревообробної, сільськогосподарської, хімічної та інших галузей.

У багатьох випадках спостерігаються викиди підвищеної температури, які важко ефективно очищати за допомогою традиційних пиловловлювачів через зміну властивостей пилу, погіршення умов осадження та зниження ефективності фільтрувальних елементів. Водночас висока температура створює умови для інтенсифікації масообміну шляхом зміни фізико-хімічних властивостей середовища та характеру фазової

взаємодії.

Скруберні системи з дисковими розпилювачами вирізняються здатністю до тонкого диспергування рідини, стабільністю при змінних температурних і витратних режимах, а також простотою експлуатації. Однак їх ефективність значною мірою визначається раціональним добром конструктивних параметрів і режимів роботи, що враховують гідродинаміку та тепломасообмін.

Попри це, досліджень, які комплексно аналізують вплив температури на ефективність таких скрубєрів, небагато, як і точних методик для прогнозування їх роботи в реальних умовах. Це ускладнює адаптацію апаратів до сучасних технологічних викликів і знижує загальну ефективність.

Таким чином, підвищення ефективності очищення високотемпературних аспіраційних викидів шляхом оптимізації конструкції та режимів роботи дискових розпилювачів є актуальною науково-прикладною задачею. Її вирішення дозволить зменшити шкідливий вплив виробництва, поліпшити умови праці та забезпечити відповідність екологічним вимогам.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій.

Для вирішення завдань, поставлених у дисертаційній роботі, було застосовано комплекс теоретичних і експериментальних методів. Розроблено узагальнену математичну модель очищення газового потоку в скрубєрі з дисковим розпилювачем, яка базується на рівняннях масообміну між диспергованою рідиною та газовим середовищем, а також враховує інерційне осадження частинок, гравітаційне стікання крапель, вторинне випаровування й часткову рекомбінацію аерозолів.

Моделювання взаємодії потоку з дисковим розпилювачем включало опис формування крапель та їх руху з урахуванням сили тяжіння, опору

середовища і ефективного поперечного перерізу. Обчислювальні розрахунки були доповнені експериментами на спеціально створеній лабораторній установці, що забезпечило верифікацію моделі.

Під час експериментів використовували сучасні методи оброблення даних: багатофакторний аналіз, статистичну обробку та апроксимацію емпіричних залежностей. Порівняння результатів з відомими літературними даними підтвердило достовірність підходів і адекватність моделі. Запропонована узагальнена формула для визначення ефективності пиловловлювання може використовуватися як інженерний інструмент для оптимізації конструкції аспіраційних систем, що працюють з гарячими газовими потоками.

3. Наукова новизна одержаних результатів

Уперше:

- встановлено закономірності впливу механічних домішок у зрошувальній рідині на дисперсність крапель, що дозволило уточнити умови ефективного пиловловлення;
- отримано критеріальні залежності для розрахунку гідравлічного опору апарата з урахуванням впливу температури запиленого потоку та складу рідини;
- розроблено математичну модель процесу уловлювання пилу у високотемпературних потоках, що враховує турбулентний характер взаємодії факела розпилювача з газовим потоком.

Удосконалено:

- методику розрахунку ефективності роботи скрубєрів із дисковими розпилювачами при використанні зворотної води;
- удосконалено розуміння впливу геометрії дискового розпилювача на стійкість факела розпилювача та стабільність його параметрів при тривалій експлуатації.

Подальшого розвитку набули:

- експериментальні методики дослідження процесів пиловловлення при високих температурах;

- підходи до комплексної оцінки енергоефективності пилогазоочисних установок.

Практичне значення роботи:

- вдосконалено конструкцію та умови експлуатації скрубєрів з дисковими розпилювачами для очищення аспіраційних викидів з температурою до 180 °С;

- надано рекомендації щодо підбору та налаштування режимів роботи зрошувальних систем для різних типів пилу;

- створено передумови для впровадження результатів досліджень на підприємствах харчової, деревообробної та будівельної промисловості;

- розроблено інженерну методику визначення ефективності очищення на основі промислових випробувань.

4. Загальнонаціональне та світове значення роботи.

В умовах поступового наближення екологічного законодавства України до норм Європейського Союзу, особливо щодо промислових викидів, актуальною залишається проблема зниження рівня забруднення повітря, зокрема гарячими аспіраційними викидами. Нині гранично допустимі концентрації пилу в Україні значно перевищують європейські норми, що створює екологічні ризики та ускладнює інтеграцію до європейського екологічного простору.

Розробка та впровадження високоефективних методів очищення газів, зокрема шляхом удосконалення скрубєрів із дисковими розпилювачами, спрямована на зниження концентрації пилу до рівня сучасних європейських вимог. Такі технології сприяють не лише підвищенню екологічної безпеки виробництва, а й забезпечують відповідність майбутнім екологічним стандартам.

Очищення аспіраційних викидів за допомогою енергоефективних рідинних апаратів також дозволяє скоротити втрати тепла й води — що особливо важливо в умовах зростання вартості енергоносіїв. Запропоновані технічні рішення можуть бути використані для модернізації систем газоочищення на вітчизняних підприємствах і становлять інтерес для міжнародної спільноти як приклад ефективного переходу до жорсткіших екологічних вимог.

Таким чином, результати дисертаційної роботи мають як наукову, так і практичну цінність, сприяючи підвищенню екологічної безпеки в Україні та конкурентоспроможності національних технологій на світовому ринку.

5. Повнота викладення здобувачем основних результатів у наукових публікаціях.

Матеріали дисертаційної роботи опубліковано у 8 друкованих роботах, серед яких одна стаття в закордонному виданні держави, яка входить до ОЕСР та ЄС, чотири статті в наукових фахових виданнях категорії «Б» (одноосібні або у співавторстві з науковим керівником) та 3 тези доповідей у матеріалах міжнародних конференцій які додатково відображають наукові результати дисертації.

6. Відсутність академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації

У роботі відсутні ознаки академічного плагіату. Усі запозичені дані, ідеї та методи супроводжуються коректними посиланнями на відповідні джерела. Наукові результати та положення, що становлять основу дисертації, є результатом особистих досліджень автора. Зокрема:

- здійснено критичний аналіз сучасних методів очищення аспіраційних, у тому числі високотемпературних, викидів з акцентом на рідиннофазні способи пилогазоочищення;
- уточнено класифікацію мокрих газоочисних апаратів за механізмами взаємодії фаз, з виділенням окремої групи апаратів із

дисковими розпилювачами;

- запропоновано узагальнену структурну схему скрубера з дисковим розпилювачем для очищення гарячих викидів та сформульовано вимоги до його роботи згідно з екологічними нормами України;
- розроблено математичну модель взаємодії крапельного потоку з запиленим газовим середовищем з урахуванням диспергування, інерційного захоплення та тепломасообміну;
- виконано чисельне моделювання для визначення оптимальних параметрів дискового розпилювання, які забезпечують ефективне очищення при підвищених температурах;
- проведено експериментальні дослідження на лабораторній установці, підтверджено гіпотези моделі та встановлено залежності ефективності очищення від основних технологічних параметрів;
- розроблено практичні рекомендації для впровадження результатів на підприємствах, що мають справу з гарячими аспіраційними потоками, зокрема у сфері переробки сировини, агропромисловості та виробництва будівельних матеріалів.

Фабрикації або фальсифікації даних у роботі не виявлено.

7. Оцінка мови, стилю та оформлення дисертації.

Дисертаційна робота має анотацію, вступ, чотири розділи, загальні висновки, список використаних джерел із 128 найменувань та два додатки. Робота викладена на 180 сторінках, містить 41 рисунок і 19 таблиць.

Робота викладена грамотною українською мовою, а застосована в роботі наукова термінологія є загальновизнаною, стиль викладення результатів теоретичних і експериментальних досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їхнього сприйняття. Оформлення дисертації відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України.

8. Аналіз основного змісту роботи.

Всі розділи дисертаційної роботи змістовно підпорядковані меті дослідження та логічно взаємопов'язані.

За актуальністю, науковою новизною, практичною цінністю, рівнем та обсягом проведених досліджень, якістю оформлення дисертаційна робота відповідає вимогам, що передбачені пп. 5-9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44, Наказу Міністерства освіти і науки України № 40 від 12 січня 2017 р. зі змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства освіти і науки №759 від 31.05.2019 р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації», освітньо-наукової програми «Будівництво та цивільна інженерія» третього рівня вищої освіти за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія», затвердженої Вченою радою КНУБА, протокол № 37 від 29 січня 2021 р.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, визначено мету й основні завдання дослідження, викладено наукову новизну, практичне значення роботи, особистий внесок автора, результати апробації та відомості про публікації.

У першому розділі проаналізовано існуючі типи пиловловлювачів та доведено доцільність використання мокрих апаратів для очищення аспіраційних викидів. Визначено їх переваги та обмеження, узагальнено теоретичні підходи до осадження аерозолів краплями. Сформульовано задачі дослідження з метою підвищення ефективності дискових пиловловлювачів за умов наявності пилу й домішок у зворотній воді.

Другий розділ присвячено теоретичному обґрунтуванню взаємодії крапель рідини з пиловими частинками та закономірностям диспергування. Встановлено, що ефективність пиловловлення залежить від дисперсності крапель, яка визначається конструкцією розпилювача, властивостями рідини й наявністю домішок. Виведено формулу для оцінки ефективності захоплення пилу та обґрунтовано необхідність експериментальних досліджень для кількісного аналізу впливу параметрів зрошення в умовах високих температур.

У третьому розділі представлено результати експериментального дослідження роботи циклонного пиловловлювача з дисковим розпилювачем, що використовує оборотну воду з механічними домішками. Вивчено вплив гідродинамічних параметрів, конструкції розпилювача та фізико-хімічних властивостей рідини на формування крапельного факела. Побудовано математичну модель очищення й визначено оптимальні параметри роботи апарата для підвищення його ефективності.

У четвертому розділі подано результати аналітичного й експериментального дослідження нової конструкції циклонного пиловловлювача з дисковим розпилювачем, орієнтованого на очищення високотемпературних аспіраційних викидів. Встановлено, що введення дрібнодиспергової рідини в обертовий пилогазовий потік забезпечує ефективність очищення до 98,5% навіть при вмісті домішок до 2,5 кг/м³. Досліджено вплив домішок на дисперсність крапель, розроблено уточнену математичну модель з урахуванням властивостей рідини, пилу, вологості та гідродинаміки. Результати підтверджено промисловими випробуваннями на Київському заводі скловиробів, де досягнуто помітного економічного ефекту.

9. Зауваження та дискусійні питання

1. У роботі наведено огляд літературних джерел, проте значна увага зосереджена на українських і російськомовних публікаціях. Доцільним було б ширше залучити сучасні англomовні джерела, що відображають останні досягнення у галузі очищення газових викидів та пиловловлювання. Окрім того, в аналітичному огляді сучасних технологій пиловловлення відсутня кількісна порівняльна оцінка ефективності основних технологічних схем, що не дозволяє сформувати цілісну картину переваг та недоліків кожного підходу.

2. У розділі 2.1 «Фізична модель процесу пиловловлення: аналіз сил, що діють на частинки пилу та краплі рідини в циклонному пиловловлювачі», автор наводить низку рівнянь математичних моделей (зокрема 2.1–2.13). Однак у тексті відсутні пояснення фізичного змісту окремих коефіцієнтів і параметрів, що ускладнює практичне використання цих рівнянь та інтерпретацію отриманих результатів. Для прикладного застосування запропонованих моделей доцільно було б роз'яснити роль кожного коефіцієнта, вказати методи їх визначення та межі використання.

Поряд із цим вибір критеріальних параметрів виглядає недостатньо аргументованим, що ставить під сумнів можливість верифікації запропонованої моделі та її адаптації до інших експлуатаційних режимів.

3. Автор подає опис експериментальної установки та умов досліджень, проте відсутні деякі важливі параметри (діапазони вимірювань, похибки приладів). Це ускладнює відтворення експерименту іншими дослідниками. Водночас відсутність аналізу похибок вимірювань та методики їх урахування знижує достовірність отриманих залежностей і висновків.

4. У дисертаційній роботі, зокрема у четвертому розділі, автор

докладно розглянув питання енергетичної та економічної доцільності застосування запропонованої конструкції циклонного пиловловлювача. Проте відсутній прогноз довговічності та стабільності його роботи при тривалому функціонуванні в умовах високої запиленості. Такий аналіз є важливим для промислового впровадження, оскільки дозволяє оцінити надійність обладнання та потребу в регламентних обслуговуваннях.

5. У тексті дисертації трапляються окремі стилістичні повтори, а також русизми, так зокрема *«На кожную частинку в загальному випадку діють такі зовнішні сили...»* стор. 59. Краще: *загалом, як правило*. Разом із тим, деякі рисунки (Рис. 1.1., стор 20) та схеми подекуди не мають достатньо якісного графічного оформлення (дрібний шрифт, низька контрастність). Це ускладнює сприйняття окремих результатів дослідження.

Зроблені зауваження не є принциповими і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Микитенка Максима Руслановича «Підвищення ефективності очистки аспіраційних викидів підвищеної температури в скруберах з дисковими розпилювачами» є завершеною науковою роботою, що містить нові наукові положення та відповідає вимогам освітньо-наукової програми «Будівництво та цивільна інженерія» третього рівня вищої освіти за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія». Вона відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України до дисертацій докторів філософії, затверджених наказом Міністерства освіти і науки від 12 січня 2017 р. №40 зі зміною від 31 травня 2019 р. №759 та пп. 5-9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової

установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44, а її автор – Микитенко Максим Русланович – заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 19 «Архітектура та будівництво» за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія.

Офіційний опонент

доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри теплогазопостачання та вентиляції
Інституту будівництва та інженерних систем
Національного університету
«Львівська політехніка» МОН України  Желих В.М.

Підпис доктора технічних наук,
професора Желиха Василя Михайловича засвідчую:
Вчений секретар ради Національного університету.
«Львівська політехніка»   Брилинський Р.Б.