МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Микитенко Максим Русланович
(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК _____
(індекс)

ДИСЕРТАЦІЯ

«Підвищення ефективності очистки аспіраційних викидів підвищеної температури в скруберах з дисковими розпилювачами»
(назва дисертації)

Спеціальність 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
(шифр і назва спеціальності)

Галузь знань 19 Архітектура та будівництво
(галузь знань)

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Микитенко М. Р.
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник (консультант) к.т.н., доц. Любарець Олександр Петрович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Київ – 2025

АНОТАЦІЯ

Микитенко М. Р. Підвищення ефективності очистки аспіраційних викидів підвищеної температури в скруберах з дисковими розпилювачами. - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільні інженерія». - Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, 2025.

Основний зміст дисертаційної роботи. Дисертація присвячена підвищенню ефективності очищення аспіраційних викидів з підвищеною температурою у пиловловлювачах циклонного типу з дисковими розпилювачами, які працюють із повторним використанням оборотної води, що містить механічні домішки. У роботі розглянуто проблеми знепилення повітряних викидів у виробництві будівельних матеріалів, де використання традиційних мокрих апаратів стикається з обмеженнями щодо ефективності очищення дрібнодисперсного пилу, енерговитратності та вимог до якості зрошувальної рідини.

У першому розділі дисертації представлено аналіз сучасних конструкцій пиловловлювальних апаратів та обґрунтовано доцільність застосування мокрих пиловловлювачів для очищення аспіраційних викидів. Встановлено, що такі апарати мають низку переваг: вони знижують ризик займання вибухонебезпечного пилу, усувають вторинне забруднення повітря та забезпечують одночасне видалення твердих, паро- і газоподібних домішок. Разом з тим, окреслено обмеження використання мокрих пиловловлювачів на підприємствах будівельних матеріалів, пов’язані з невисокою ефективністю уловлювання дрібнодисперсного пилу, вимогами до якості зрошувальної води та необхідністю очищення стічних вод. Проведено огляд теоретичних і експериментальних підходів до опису осадження аерозолів краплями рідини. Виявлено, що використання високорозвиненої краплинної поверхні та

великої відносної швидкості між краплями і частинками може суттєво покращити ефективність очищення, однак потребує високих енерговитрат, як у випадку скруберів Вентурі. Зазначено недоліки існуючих моделей, зокрема відсутність достатньої кількості даних про вплив механічних домішок у зрошувальній рідині та відсутність адекватного математичного опису турбулентного руху в зоні взаємодії потоку з факелом розпилу, що зумовлює потребу у проведенні цілеспрямованих експериментальних досліджень. На основі проведеного аналізу сформульовано завдання дослідження, зокрема вивчення дисперсного складу крапель, впливу умов запиленості та домішок у воді на ефективність очищення, а також гідродинамічних параметрів роботи дискових пиловловлювачів.

У другому розділі проведено теоретичне обґрунтування процесів взаємодії крапель рідини з частинками пилу та розглянуто основні закономірності диспергування рідини в розпилювачах. На основі аналізу фізичних процесів осадження аерозольних частинок встановлено, що ефективність пиловловлення значною мірою залежить від дисперсності крапель, яка, у свою чергу, визначається конструкцією та режимами роботи розпилювального пристрою, властивостями рідини та вмістом механічних домішок. Методом аналізу розмірностей виведено функціональну залежність для об’ємно-поверхневого діаметра крапель води й суспензії, яка враховує вплив концентрації твердих частинок. Одержано загальну формулу для розрахунку ефективності захоплення пилу факелом диспергованої рідини. Виявлено необхідність подальших експериментальних досліджень із використанням факторного аналізу для встановлення кількісного впливу параметрів розпилу та властивостей зрошувального середовища на ступінь очищення повітря при підвищених температурах. Результати розділу стали підґрунтям для формулювання загальної методики дослідження пиловловлення в наступних розділах та окреслення напрямів вдосконалення конструкції пиловловлюючих апаратів з дисковими розпилювачами.

У третьому розділі проведено комплексні експериментальні дослідження роботи пиловловлювача циклонного типу з дисковим розпилювачем, призначеним для диспергування зворотної води з вмістом механічних домішок. Досліджено вплив гідродинамічних параметрів, конструктивних характеристик дискового розпилювача, а також властивостей рідини на формування крапельного факела. Отримано рівняння в критеріальному вигляді для розрахунку середнього об'ємно-поверхневого діаметра крапель суспензії та водопровідної води, що дало змогу оцінити вплив механічних домішок на дисперсність. Проведені лабораторні експерименти за планом повного факторного досліду дозволили побудувати математичну модель процесу очищення та встановити оптимальні параметри функціонування апарата. Встановлено, що підвищена вологість запиленого потоку та вміст домішок у воді до 2,5 кг/м³ позитивно впливають на ступінь очищення, тоді як підвищення температури знижує ефективність процесу. Отримано залежності для визначення краплевиносу та гідравлічного опору апарата, які разом з критеріальними рівняннями для ефективності пиловловлення створюють основу для переходу до розробки промислової конструкції скрубера з дисковим розпилювачем.

У четвертому розділі представлено результати експериментального й аналітичного дослідження нового пиловловлювача циклонного типу з дисковим розпилювачем, орієнтованого на очищення аспіраційних викидів підвищеної температури. Встановлено, що введення високодиспергованої рідини в обертовий пилогазовий потік у центрі апарата забезпечує інтенсивну кінематичну коагуляцію частинок пилу та дозволяє досягти високої ефективності очищення – до 98,5% – навіть при використанні зворотної води з вмістом механічних домішок до 2,5 кг/м³. Досліджено вплив домішок на дисперсність крапель та доведено, що їх наявність сприяє зменшенню об'ємно-поверхневого діаметра крапель, підвищуючи ефективність пиловловлення. Побудовано математичну модель, яка враховує

основні фактори процесу, включаючи фізичні властивості рідини, дисперсність пилу, вологість і гідродинамічні умови. Одержано критеріальні залежності для визначення гідравлічного опору апарата, що разом із розробленою методикою розрахунку стали основою для практичного застосування. Результати підтверджено промисловими випробуваннями на Київському заводі скловиробів, де було досягнуто значного економічного ефекту, а також розширено впровадження розробленої конструкції на низці інших підприємств.

Обсяг дисертації складає 180 сторінок, включає 41 рисунок, 19 таблиць, 128 джерел.

Ключові слова: аспіраційні викиди, дисковий розпилювач, диспергування рідини, механічні домішки, запилені потоки, ефективність пиловловлення, осадження крапель.

Список публікацій здобувача:

1) Любарець, О. П., Микитенко М. Р., «Аналіз складових чинників, що впливають на стан знепилення аспіраційних викидів». Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання, т. 46, 2023, с. 89-108, doi:10.32347/2409-2606.2023.46.89-108

2) Микитенко М. Р., «Математичне моделювання та аналіз ефективності руху частинок у циклонних розпилювальних апаратах». Просторовий розвиток, зб. 11, 2025, с. 456-463, doi:10.32347/2786-7269.2025.11.456-463

3) Oleksandr Liubarets, Maksym Mykytenko, «EVALUATION OF EFFICIENCY AND OPTIMISATION OF CYCLONE-TYPE DUST COLLECTORS WITH A CIRCULAR SPRAY OF REVERSIBLE SUSPENSION FOR GAS PURIFICATION UP TO 250 °C», Innovative Solutions In Modern Science № 3(67), 2025, New York “TK Meganom LLC”, p. 5-54, doi:10.26886/2414-634X.3(67)2025.1

4) Любарець, О. П., Микитенко М. Р., «Дослідження впливу конструкції дискового розпилювача на ефективність пиловловлення в умовах високотемпературних потоків». Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання, т. 52, 2025, с. 69-84, doi: 10.32347/2409-2606.52.69-84

5) Любарець О.П., Микитенко М.Р., «Систематизація повітро- та газоочисних пристроїв з рідинним середовищем для уловлювання пилу та абсорбції шкідливих забруднень». Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання, т. 53, 2025, с. 20-32. https://doi.org/10.32347/2409-2606.53.20-32

Участь у наукових конференціях:

1) III Міжнародна науково-практична конференція «Екологія, ресурси, енергія», Київ, 23-25 листопада 2022 р.

2) II Міжнародна наукова конференція «Розвиток наук в умовах нової реальності: проблеми та перспективи» м. Київ, 3 травня 2024 р.

3) V Міжнародна науково-практична конференція «Енергія. Ресурси. Екологія» м. Київ, 27-29 листопада 2024 р.

Опубліковано тез або виступів:

1) Любарець О. П., Микитенко М. Р., «Аналіз складових чинників, що впливають на стан знепилення аспіраційних викидів». Міжнародна науково-практична конференція «Екологія, ресурси, енергія», Київ, 23-25 листопада 2022 р.

2) Любарець О. П., Микитенко М. Р., «Дослідження ступеня очищення аспіраційних викидів ливарних та будівельних цехів, в пиловловлювачі з дисковим розпилювачем». II Міжнародна наукова конференція «Розвиток наук в умовах нової реальності: проблеми та перспективи» м. Київ, 3 травня 2024 р.

3) Любарець О. П., Микитенко М. Р., «Аналіз впливу основних факторів на процес пиловловлення в пиловловлювачах з дисковими розпилювачами». Міжнародна науково-практична конференція «Екологія, ресурси, енергія», Київ, 27-29 листопада 2024 р.

ABSTRACT

Mykytenko M. Enhancement of the Efficiency of High-Temperature Aspiration Emissions Treatment in Scrubbers with Disc Atomizers. – Qualification Scientific Work as a Manuscript.

Dissertation for the Degree of Doctor of Philosophy in Specialty 192 "Construction and Civil Engineering" (19 – Architecture and Construction). – Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, 2025.

The main content of the dissertation. The dissertation is devoted to improving the efficiency of high-temperature aspiration emissions purification in cyclone-type wet scrubbers equipped with disc atomizers operating with recycled water containing mechanical impurities. The work addresses the challenges of air dedusting in the production of building materials, where traditional wet scrubbers face limitations related to the capture of fine particles, energy consumption, and water quality requirements.

The first chapter presents an analysis of modern dust collection devices and substantiates the feasibility of using wet scrubbers for aspiration emissions treatment. Their advantages include reducing the risk of combustible dust ignition, eliminating secondary air pollution, and enabling simultaneous removal of solid, vapor, and gaseous contaminants. At the same time, the constraints of their industrial application are identified, including low efficiency in capturing fine particles, water quality requirements, and the need for wastewater treatment. The chapter also reviews theoretical and experimental approaches to describing aerosol deposition by liquid droplets. It is shown that a highly developed droplet surface and high relative velocity between droplets and particles can enhance purification efficiency but require significant energy input, as in the case of Venturi scrubbers. The shortcomings of existing models are highlighted, particularly the lack of data on the influence of mechanical impurities in irrigation water and the insufficient description of turbulence in the droplet interaction zone, which necessitates targeted experimental research. Based on this analysis, research objectives were defined, including studying droplet size distribution, the influence of dustiness and

water impurities on efficiency, and the hydrodynamic parameters of disc-type scrubbers.

The second chapter provides a theoretical justification of droplet–particle interaction processes and examines the basic laws of liquid atomization in atomizers. Analysis of the physical processes of aerosol deposition established that purification efficiency strongly depends on droplet fineness, which in turn is determined by the atomizer design, operating regimes, liquid properties, and impurity content. A dimensional analysis yielded a functional dependence for the volume–surface diameter of droplets of water and suspensions, considering the influence of solid particle concentration. A general formula for calculating dust capture efficiency by atomized liquid sprays was derived. The necessity of further experimental research using factorial analysis was demonstrated to quantify the influence of spray parameters and liquid medium properties on purification efficiency under high-temperature conditions. These results formed the basis for developing a comprehensive methodology for studying dust collection in the following chapters.

The third chapter presents experimental investigations of a cyclone-type scrubber with a disc atomizer designed to disperse recycled water containing mechanical impurities. The influence of hydrodynamic parameters, atomizer design, and liquid properties on droplet spray formation was studied. Equations in dimensionless form were obtained to calculate the mean volume–surface diameter of suspension and water droplets, which allowed for evaluating the effect of impurities on droplet fineness. Laboratory experiments conducted under a full factorial design enabled the construction of a mathematical model of the purification process and the determination of optimal operating parameters. It was found that increased humidity of the dusty stream and water impurity concentration up to 2.5 kg/m³ improved purification efficiency, while higher temperatures reduced it. Dependencies for droplet carryover and hydraulic resistance were established, providing a basis for the design of an industrial prototype scrubber.

The fourth chapter summarizes the results of experimental and analytical studies of the novel cyclone-type scrubber with a disc atomizer intended for high-temperature aspiration emissions. It was established that introducing highly atomized liquid into the rotating dust–gas flow at the center of the apparatus ensured intensive kinematic coagulation of particles and enabled high purification efficiency—up to 98.5%—even when using recycled water with mechanical impurities up to 2.5 kg/m³. The influence of impurities on droplet dispersion was investigated, proving that their presence reduces the mean volume–surface diameter of droplets and enhances dust capture efficiency. A mathematical model was constructed, incorporating the main process parameters, including liquid properties, dust dispersion, humidity, and hydrodynamic conditions. Dimensionless correlations were obtained for hydraulic resistance, which, together with the developed calculation methodology, provide the basis for practical application. The results were confirmed by industrial tests at the Kyiv Glass Factory, where significant economic benefits were achieved, and by further implementation of the developed design at other enterprises.

Keywords: aspiration emissions, disc atomizer, liquid atomization, mechanical impurities, dusty flows, dust collection efficiency, droplet deposition.