

I. CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

DOI 10.26886/2414-634X.3(67)2025.1

UDC: 622.807

EVALUATION OF EFFICIENCY AND OPTIMISATION OF CYCLONE-TYPE DUST COLLECTORS WITH A CIRCULAR SPRAY OF REVERSIBLE SUSPENSION FOR GAS PURIFICATION UP TO 250 °C

Oleksandr Liubarets, PhD, Associate Professor

<http://orcid.org/0000-0003-1905-9283>

e-mail: liubarets.op@knuba.edu.ua

Kyiv National University of Construction and Architecture, Ukraine, Kyiv

Maksym Mykytenko, Master

<http://orcid.org/0000-0003-2891-6136>

e-mail: mykytenko_mr@knuba.edu.ua

Kyiv National University of Construction and Architecture, Ukraine, Kyiv

The object of study is cyclone-type dust collectors with a disc sprayer of a recirculating dust-water suspension designed to clean ventilation and aspiration emissions in industrial conditions with temperatures up to 250°C.

The paper proposes a solution to the problem of increasing the efficiency of wet cleaning of dusty gas-air streams containing polydisperse dust up to 50 µm of various industrial origin. The influence of the main operating parameters, in particular, gas flow rate from 12 to 20 m/s, dust particle size from 1 to 50 µm, suspension flow rate from 0.5 to 2.5 l/m³ of gas and concentration of captured dust in recycled water up to 15 g/l, on the efficiency of the dust collection process is investigated.

The obtained experimental results of testing dust collectors in industrial conditions confirm analytical studies on the use of a circulating slurry disc sprayer while maintaining dust collection efficiency at 96-98% for particles

of 10-50 microns and 85-90% for fine dust of 1-10 microns at a gas flow temperature of up to 250 °C. During the operation of the dust collector, it was determined that the recirculation of the working suspension inside the dust collector reduces annual water consumption by 25-30% while ensuring the stability of the cleaning process.

The differences in the results obtained are in the confirmation of the effectiveness of using compact dust collectors with internal recirculation of the working fluid, which reduces energy consumption by 15%, reduces operating costs and increases the duration of maintenance-free operation to 3000 hours. A methodology for assessing the efficiency of air purification is proposed, which takes into account the design parameters, operating modes of the device and the characteristics of the dusty flow.

The results of the research are of practical importance for the design and modernisation of aspiration systems of industrial enterprises, in particular in thermal shops and in the treatment of air emissions. They can be used to improve existing gas purification technologies, increase the efficiency of ventilation equipment, and reduce the impact of industrial emissions on the environment.

Keywords: *dust collection, disc spray, aspiration, air dustiness, dust dispersion, particle deposition.*

кандидат технічних наук, доцент, Олександр Любарець; магістр, Максим Микитенко, Оцінка ефективності та оптимізація пиловловлювачів циклонного типу з дисковим розпилювачем оборотної суспензії для очистки газів до 250 °с / Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна, Київ

Об'єктом дослідження є пиловловлювачі циклонного типу з дисковим розпилювачем рециркуляційної пило-водяної суспензії, призначені для очищення вентиляційних та аспіраційних викидів у

промислових умовах з температурою до 250°C.

У роботі запропоновано вирішення задачі підвищення ефективності мокрого очищення запилених газоповітряних потоків, що містять полідисперсний пил до 50 мкм різного промислового походження. Досліджено вплив основних експлуатаційних параметрів, зокрема швидкості газового потоку від 12 до 20 м/с, розміру часток пилу від 1 до 50 мкм, витрати суспензії від 0,5 до 2,5 л/м³ газу та концентрації вловленого пилу в оборотній воді до 15 г/л, на ефективність процесу пиловловлення.

Отримані експериментальні результати випробувань пиловловлювачів у промислових умовах підтверджують аналітичні дослідження щодо застосування дискового розпилювача оборотної суспензії при збереженні ефективності пиловловлення на рівні 96–98% для частинок 10-50 мкм та 85–90% для дрібнодисперсного пилу 1–10 мкм при температурі газового потоку до 250 °С. В процесі експлуатації пиловловлювача було визначено, що рециркуляція робочої суспензії всередині пиловловлювача зменшує річні витрати води на 25–30% при забезпеченні стабільності процесу очищення.

Відмінності отриманих результатів полягають у підтвердженні ефективності використання компактних пиловловлювачів із внутрішньою рециркуляцією робочої рідини, що забезпечує зменшення енергоспоживання на 15%, зниження експлуатаційних витрат та збільшення тривалості роботи без обслуговування до 3000 годин. Запропоновано методичку оцінки ефективності очищення повітря, яка враховує конструктивні параметри, режими роботи апарату та характеристики запиленого потоку.

Результати досліджень мають практичне значення для проектування та модернізації аспіраційних систем промислових підприємств, зокрема у термічних цехах і при очищенні викидів в

атмосферу. Вони можуть бути використані для вдосконалення існуючих технологій очищення газів, підвищення ефективності роботи вентиляційного обладнання та зниження впливу виробничих викидів на навколишнє середовище.

Ключові слова: пиловловлення, дисковий розпилювач, аспірація, запиленість повітря, дисперсність пилу, осадження частинок.

1. Вступ. Сучасні промислові процеси супроводжуються значним виділенням забруднюючих речовин в атмосферу, що вимагає впровадження ефективних систем очищення повітря. Пил, що утворюється під час технологічних операцій, є однією з основних причин забруднення, що негативно впливає не лише на навколишнє середовище, але й на здоров'я працівників. У цьому контексті особливу увагу привертають пиловловлювачі циклонного типу, які завдяки своїй конструктивній простоті, надійності та високій ефективності, яка сягає до 98% очищення стали широко використовуватися в промисловості.

Одним із перспективних напрямків у вдосконаленні пиловловлювальних систем є поєднання циклонного методу осідання часток пилу та використання дискових розпилювачів рідини для коагуляції дрібнодисперсних часток. Поєднання цих технологій не тільки підвищує ефективність очищення повітря, але й зменшує витрати на обслуговування та експлуатацію систем, що складають до 30% економії вартості експлуатації. Зокрема, дискові розпилювачі на відміну від форсунок, що періодично забиваються, дозволяють забезпечити стабільний розпил робочої рідини, яка містить вловлені частки пилу. Це також дозволяє зменшити витрати на водопостачання установки та очистку оборотної робочої рідини.

Актуальність наукових досліджень з вдосконалення систем очищення повітря, зокрема пиловловлювачів циклонного типу з

дисковими розпилювачами, полягає в їх високій ефективності, яка сягає до 98% ефективності пиловловлення та економічності для промислових підприємств.

Зважаючи на зростаючі вимоги до зменшення впливу забруднюючих речовин на навколишнє середовище та здоров'я працівників, впровадження систем очищення аспіраційних викидів стає важливим кроком для досягнення сталого розвитку. Оскільки технології забезпечують стабільний процес очищення, знижують витрати на водопостачання та полегшують обслуговування, вони відкривають нові можливості для зменшення негативного впливу на навколишнє середовище при одночасному зниженні експлуатаційних витрат. Дослідження в цій сфері сприятимуть подальшому розвитку ефективних методів очищення повітря в умовах сучасної промисловості.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Удосконалення технологій мокрого очищення газів від дрібнодисперсного пилу є актуальним напрямом досліджень у сфері промислової екології. У роботі [1] наведено результати експериментальних досліджень ефективності мобільного сухого скрубера для контролю пилу в гірничодобувній промисловості, що демонструє можливість зменшення концентрації пилу в повітрі шахт. Проте питання ефективності подібних технологій у високотемпературних газових потоках залишаються відкритими.

Вчені у роботі [2] провели моделювання розсіювання пилу при шліфувальних операціях і оцінку ефективності локальної вентиляції, показавши важливість оптимізації параметрів вентиляційних систем для підвищення ефективності пиловловлення. Аналогічно, дослідження [3] підкреслило значення фільтраційних вентиляційних систем для уловлювання дрібнодисперсного пилу, однак не розглядало їхню

ефективність у поєднанні з мокрими методами очищення.

Науковець Kateusz [4] дослідив невизначеність вимірювання середньої швидкості димових газів у трубопроводах та її вплив на гравіметричні методи визначення концентрації пилу. Це дослідження вказує на можливі похибки під час вимірювання ефективності пиловловлювачів у промислових умовах. У роботі [5] розглянули технологію контролю пилу на механізованих очисних вибоях, зазначаючи, що вологе осадження пилу є ефективним рішенням, проте не враховано параметри газового потоку та їхній вплив на стабільність процесу очищення.

Згідно результатів дослідження [6] запропоновано комбінацію водяного зрошення та промислової вентиляції для зменшення викидів пилу на гірничодобувних підприємствах, показавши економічну доцільність такого підходу. Проте можливості рециркуляції рідини для зниження витрат води не були розглянуті. Дослідження [7] акцентує увагу на параметрах трифазного потоку у вологих пиловловлювачах, що має безпосереднє значення для підвищення ефективності уловлювання дрібнодисперсних частинок.

У роботі [8] проведено експериментальні дослідження роботи мокрого скрубера, призначеного для видалення вугільного пилу в довгих галереях. Встановлено, що підвищення інтенсивності розпилення сприяє збільшенню ефективності уловлювання частинок. Водночас автори не розглянули питання довготривалої стабільності роботи скрубера за умов високої запиленості та можливості засмічення системи.

Вчені у роботі [9] представили результати моделювання і експериментального дослідження продуктивності витяжних пристроїв для збору пилу, підтвердивши вплив форми і розташування витяжних елементів на ефективність уловлювання.

У науковій праці [10] виконали чисельне моделювання ефективності уловлювачів для механізованих очисних комплексів, довівши значущість оптимізації геометрії системи. В роботі [11] досліджували процеси атомізації газорідних потоків і їхній вплив на ефективність уловлення пилу, однак не проаналізували зміну ефективності залежно від температури газового потоку. В роботі [12] розглянули технологію очищення на основі мокрої вихрової пиловловлювальної системи, яка забезпечує стабільну роботу в умовах високої запиленості.

Отже, аналіз літературних джерел підтверджує, що використання мокрих пиловловлювачів є ефективним підходом для зменшення викидів дрібнодисперсного пилу. Проте залишаються відкритими питання щодо впливу дисперсності пилу, можливості рециркуляції робочої рідини та забезпечення стабільності системи при змінних параметрах газового потоку. Це вказує на необхідність подальших досліджень, спрямованих на оптимізацію конструкції пиловловлювачів для підвищення їх ефективності у промислових умовах.

3. Мета та задачі дослідження

Метою дослідження є підвищення енергоефективності пиловловлювачів циклонного типу з дисковими розпилювачами шляхом оптимізації їх конструктивних і технологічних параметрів для забезпечення ефективного очищення газових викидів у промислових умовах. Це дасть можливість знизити концентрацію твердих частинок у газоповітряних потоках, підвищити енергоефективність пиловловлюючих установок та мінімізувати вплив промислових викидів на навколишнє середовище [13].

Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:

– провести експериментальні дослідження пиловловлення в аспіраційних системах із пиловловлювачем циклонного типу, визначити

вплив основних параметрів та розробити рекомендації для оптимізації його роботи в різних умовах експлуатації;

– оцінити ефективність пиловловлювачів циклонного типу з дисковими розпилювачами в різних умовах експлуатації, визначити оптимальні режими їх роботи та вплив експлуатаційних факторів на ступінь очищення повітря на основі лабораторних і промислових випробувань;

– визначити аналітичні залежності ступеня очищення повітряного потоку від пилу та оцінити вплив аеродинамічного опору пиловловлювача на продуктивність і ефективність очищення повітря.

4. Матеріали та методи досліджень

Об'єктом дослідження є пиловловлювачі циклонного типу з дисковими водорозпилювачами, що використовуються для очищення повітряних потоків від дрібнодисперсного пилу в промислових умовах. Основна гіпотеза дослідження полягає в тому, що використання дискових водорозпилювачів у циклонних пиловловлювачах підвищує ефективність очищення в порівнянні з сухими циклонними пиловловлювачами, та знижує енергетичні і експлуатаційні витрати завдяки рециркуляції робочої рідини та її стабільному розпилу.

У дослідженні було зроблено кілька припущень. Зокрема, вважалося, що всі випробування проводяться в умовах стабільної температури та вологості, а вплив складних хімічних компонентів пилу на ефективність очищення не є значущим для основної мети дослідження [14]. Таким чином, дослідження зосереджено на параметрах, які безпосередньо впливають на ефективність очищення повітря, таких як швидкість газового потоку, дисперсність пилу, витрата робочої рідини та концентрація механічних домішок в оборотній воді, що відповідає основам «Єдиної методики порівнювальних випробувань пиловловлювачів для очистки вентиляційного повітря» (авт. Коузов П.

A.).

Теоретичні методи дослідження включали використання аналітичних підходів для визначення ступеня очищення повітряного потоку від пилу з дисперсністю до $b_{50}=25$ мкм, а також розробку математичного опису моделей, що враховують основні фактори впливу на процес очищення [15]. Моделі дозволяють оцінити ефективність роботи пиловловлювачів з урахуванням аеродинамічного опору та конструктивних параметрів апарата.

Експериментальні дослідження проводилися на спеціально виготовлених дослідно-промислових зразках пиловловлювачів з дисковими водорозпилювачами наведених на схемах. Випробування здійснювались на експериментальному стенді (рис. 1), що дозволяє змінювати параметри газового потоку, таких як швидкість газового потоку, дисперсність пилу що міститься в повітрі яке очищається, питому витрату суспензії та концентрацію механічних домішок в оборотній воді [16].

Для вимірювання концентрації пилу, температури, вологості та швидкості газового потоку використовувалися відповідні вимірювальні пристрої, а саме електричний аспіратор з ротаметрами для відбору пилових проб М 822 («Медтех-прайс» Україна) з використанням фільтрів АФА-В-18 («Хімлаборреактив» Україна), ртутні лабораторні термометри з ціною поділки 0,1 °С, хромель-краплинні термометри ЕПП-09М для високотемпературних потоків та аспіраційний психометр [17].

Промисловий зразок пиловловлювача (рис. 1) являє собою циклон, циліндричний корпус якого забезпечений кільцевою V-подібною камерою і закінчується конічним днищем, що по периметру має вертикальні опори. Діаметр циліндричної частини становить 1,05 м. У кришці корпусу є люк діаметром 0,45 м, через який монтується дисковий водорозпилювач з електродвигуном потужністю 1,1 кВт при

$\omega=2840$ об/хв [18].

У верхній частині чаші робочої рідини влаштовані радіальні пластини, що зменшують обертання та хвилі на поверхні рідини.

Запилене повітря подається в апарат, а електродвигун обертає дисковий розпилювач, що диспергує воду на краплі, утворюючи горизонтальний фільтруючий факел у циліндричному корпусі.

Запилене повітря тангенціально надходить в нижню частину корпусу через вхідний патрубок 1. Крупні фракції пилу під дією відцентрових сил осідають на змочені стінки нижньої частини корпусу пиловловлювача 12 і водою відносяться в шламосбірник 3. Дрібні фракції пилу з потоком закрученого повітря піднімаються до гори і долають поперечну високошвидкісну фільтруючу завісу розпиленої води. При цьому розпилені краплі води захоплюють часточки пилу і виносять його з повітряного потоку в кільцеву камеру, де вони по стінках корпусу стікають у шламосбірник.

Подача води в чашу розпилювача 5 здійснюється з'єднувальною трубою 6 з бака 9, який має вертикальну переливну трубу для підтримання оптимального рівня рідини в чаші 5. Підживлення водою з бака 9 може здійснюватися з водопроводу підприємства (при роботі на чистій воді) або з відстійника шламу (при роботі на освітленій воді).

Відведення шламу через патрубок 4 у відстійник, в залежності від місцевих умов, може здійснюватись через клапан або трубопроводом, що заглиблюється нижче дзеркала освітленої води не менше ніж на 100–150 мм.

Очищене, адіабатично охолоджене та зволожене повітря видаляється з апарата через вихідний патрубок 18.

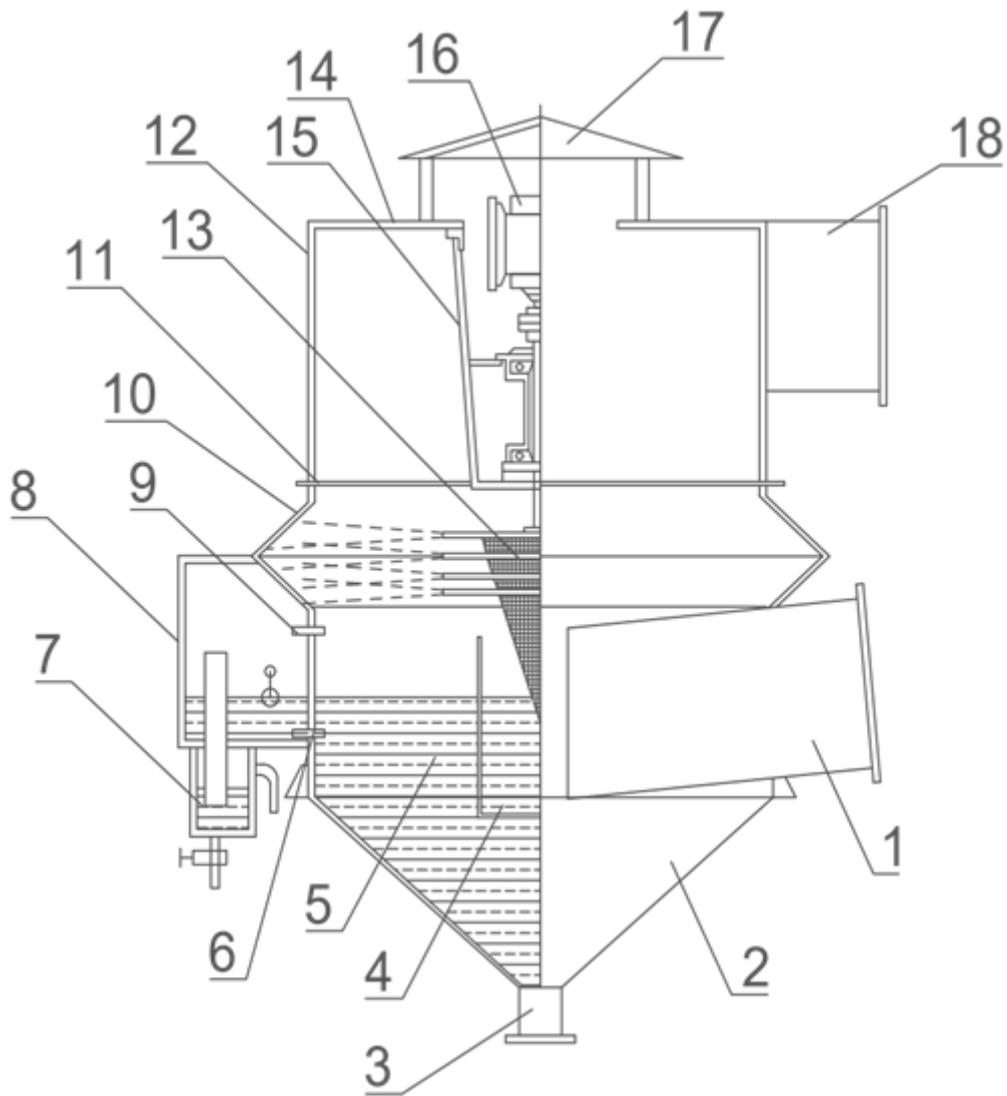


Рис. 1. Схема пиловловлювача циклонного типу з дисковим водорозпилювачем при рециркуляції робочої рідини всередині апарату: 1 – вхідний патрубок; 2 – шламозбірник; 3 – штуцер; 4 – захистне кільце; 5 – планки-хвилегсники; 6 – з'єднувальний трубопровід; 7 – гідрозатвор; 8 – підживлювальний бак; 9 – отвір для вирівнювання тиску; 10 – кільцева V-подібна камера; 11 – кільцевий козирок; 12 – циліндричний корпус; 13 – дисковий розпилювач рідини; 14 – кришка; 15 – кожух; 16 – електродвигун; 17 – зонтик; 18 – вихідний патрубок

Визначення аеродинамічного опору та ступеня очищення проводилося як різниця повних тисків на вході та виході в апарат пиловловлювача [19]. Ступінь очищення вимірювався шляхом

порівняння початкових та кінцевих значень концентрації пилу, що осідав на фільтри АФА-И-18 («Хімлаборреактив» Україна). Дослідження проводились у різних умовах експлуатації, зокрема, на підприємствах металургійної, хімічної та будівельної галузей, де запиленість повітря була доволі високою при t_g від 92 до 140 °С, Z_n від 1200 до 2100 мг/м³, вологовміст від 10 до 60 г/кгс.г. Швидкість запиленого повітря, при вході в апарат становила 20 м/с. Коефіцієнт зрошення дорівнював 0,2 кг/м³. Кутова швидкість обертання розпилювача становила 305 рад/с.

Для обробки даних використовувалися статистичні методи, що дозволяють оцінити вплив різних факторів на ефективність очищення. Ступінь очищення повітряного потоку від пилу визначався за допомогою критеріїв ефективності, таких як зменшення концентрації пилу, енергетичні витрати та витрати на обслуговування системи. Зменшення концентрації пилу було виміряно шляхом відбору пилу, що осідав на фільтри типу АФА-И-18, в той час як енергетичні витрати були визначені шляхом заміру витрат електроенергії на роботу апарату. Для перевірки адекватності розроблених моделей використовувалась методика порівняння теоретичних результатів з експериментальними даними [20]. Також проводилась перевірка моделей на стійкість до змін в умовах експлуатації, зокрема, під час змін температури, вологості та концентрації пилу.

Дослідження проводилося на промислових пиловловлювачах з дисковими розпилювачами, враховуючи всі значимі чинники (швидкість газового потоку, дисперсність пилу що міститься в повітрі яке очищається, питома витрата суспензії та концентрація механічних домішок в оборотній воді), що впливають на ефективність, що забезпечує достовірні результати для вдосконалення технологій очищення повітря [21].

5. Результати досліджень дослідно–промислового пиловловлювача із зовнішньою рециркуляцією води

5. 1. Оцінка ефективності пиловловлення за допомогою циклонного пиловловлювача з дисковим водорозпилювачем у промислових умовах

Для дослідження ефективності пиловловлення в натурних умовах були виготовлені дослідно-промислові зразки пиловловлювача з дисковим водорозпилювачем [22].

Дослідження промислових зразків проводилися на експериментальному стенді, схема якого представлена на рис. 1.

Даний експеримент ставився у вузькому інтервалі значень управляючих чинників. Найбільш важливими визначальними факторами, що значною мірою впливають на енергоефективність пилоочистки, є: швидкість газового потоку ($U_{вх}$); дисперсність пилу (β_{50}), що міститься в повітрі, що очищається; питома витрата суспензії (m) та концентрація механічних домішок в оборотній воді (C_T) [23].

Основний рівень, інтервал варіювання та межі області дослідження факторів наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Умови планування експериментів

Рівні та інтервал варіювання	Натуральні значення факторів			
	$X_1 (U_{вх})$	$X_2 (\beta_{50})$	$X_3 (m)$	$X_4 (C_T)$
Основний рівень (0)	19	15	0.15	1.7
Інтервал варіювання	4	10	0.07	1.1
Верхній рівень (+1)	23	25	0.22	2.8
Нижній рівень (-1)	15	5	0.08	0.6
Розмірність	м/с	мкм	кг/м ³	кг/м ³

Проведення експериментів було здійснено у відповідності з план-матрицею точного плану Вп. близького до D-оптимального, для квадратної моделі, побудованої на гіперкубі та що містить відносно невелике число дослідів [24]. План Вп містить вершини n-мірного куба з координатами ± 1 . Ці точки утворюють повний факторний експеримент. Їх кількість – $2n$. Крім того, в план Вп входять центри $(n-1)$ – мірних граней. Це точки з координатами $0,0,\dots,\pm 1,0,\dots,0$. Ці точки мають величину плеча, що дорівнює одиниці. Число таких точок дорівнює $2n$. Загальна кількість дослідів, при кількості факторів 6, становила:

$$N=2^n+2n=2^4+2\cdot 4=24 \text{ дослідів.}$$

План-матриця та результати досліджень представлені в табл. 2.

В результаті математичної обробки даних досліджень (табл. 2) отримана емпірична залежність для визначення загального ступеня очищення [25]:

$$\eta_{\text{обц}} = 6.412 \left(13.122 - \frac{z_{\text{н}}}{c_T} \right) \cdot Stk^{0.03}, \% \tag{1}$$

де $Stk = \frac{d_4^2 \cdot \rho_4 \cdot v_{a,3}}{18\mu_r \cdot d_{3,2}}$ – критерій Стокса;

$d_{3,2}$ – об'ємно-поверхневий діаметр крапель суспензії, що визначається по залежності:

$$\frac{d_{3,2}}{D_g} = 4.81 \left(\frac{D_g^2 \omega \rho_c}{\mu_c} \right)^{-0.47} \cdot \left(\frac{W_c \rho_c}{D_g \mu_c} \right)^{0.33} \cdot \left(\frac{\sigma_c D_g \rho_c}{\mu_c^2} \right)^{-0.22} \cdot \left(\frac{C_T}{\rho_c} \right)^{0.05}, \tag{2}$$

Таблиця 2

План та результати експерименту (прямоток)

Номер досліджу	Матриця плану X				Ступінь очистки $Y_1, \%$	Гідравлічний опір, Па
	$X_1 (U_{BX})$	$X_2 (b_{50})$	$X_3 (m)$	$X_4 (C_T)$		
1	+1	+1	+1	+1	96.1	645.5
2	-1	+1	+1	+1	94.2	279.6
3	+1	-1	+1	+1	91.05	647.5
4	-1	-1	+1	+1	84.35	279.6
5	+1	+1	-1	+1	94.3	647.5
6	-1	+1	-1	+1	93.8	279.6
7	+1	-1	-1	+1	84.25	647.5
8	-1	-1	-1	+1	83.1	279.6
9	+1	+1	+1	-1	95.85	647.5
10	-1	+1	+1	-1	94.0	279.6
11	+1	-1	+1	-1	89.9	647.5
12	-1	-1	+1	-1	84.0	276.6
13	+1	+1	-1	-1	94.0	647.5
14	-1	+1	-1	-1	93.5	276.6
15	+1	-1	-1	-1	86.4	643.5
16	-1	-1	-1	-1	83.0	276.6
17	+1	0	0	0	95.6	441.5
18	-1	0	0	0	94.65	441.5
19	0	+1	0	0	95.15	441.5

20	0	-1	0	0	87.8	432.6
21	0	0	+1	0	92.0	441.5
22	0	0	-1	0	90.4	432.6
23	0	0	0	+1	89.1	441.5
24	0	0	0	-1	90.2	439.5

Для проведення експериментальних досліджень у виробничому цеху Київського заводу скловиробів змонтовано аспіраційні системи сушильних установок (рис. 3, 4).

Запилені гарячі гази із сушильного барабана 1 і верхній частині елеватора 2 по газопроводу 3 надходять в перший ступінь очищення 4 (сухий циклон СІОТ №5), де відбувається осадження великих фракцій пилу [26], дисперсний склад яких наведено в табл. 3.

Після першого ступеня очищення, гази, що містять дрібнодисперсний пил, прямували на другий ступінь очищення 5 (пиловловлювач циклонного типу з дисковим водорозпилювачем). Очищені аспіраційні викиди вентилятором типу ВЦП 7-40-5 видаляються в атмосферу.

Система оборотного водопостачання мокрого пиловловлювача включає вертикальний відстійник 8, куди по трубі поступає забруднена вода після пиловловлювача. Освітлена вода збирається у приймальному кільцевому відсіку у верхній частині шламівідстійника, звідки насосом 7 типу DAB A 110-180 M подається до розпилювача пиловловлюючого апарату 5.

Підживлення чистою водою, необхідною для відшкодування втрат на випаровування та винос зі шламом, проводилося від водопроводу через бак із регулятором рівня.

Шлам із відстійника періодично виводиться через штуцер.

Вивантаження пилу з першого ступеня очищення здійснюється через пиловий затвор в елеваторі піску.

На рис. 2. представлена схема аспіраційної системи, де перший ступінь очищення (СІОТ №5) встановлений до вентилятора, а другий ступінь очищення (пиловловлювач циклонного типу з дисковим водорозпилювачем) на ділянці нагнітання аспіраційної системи.

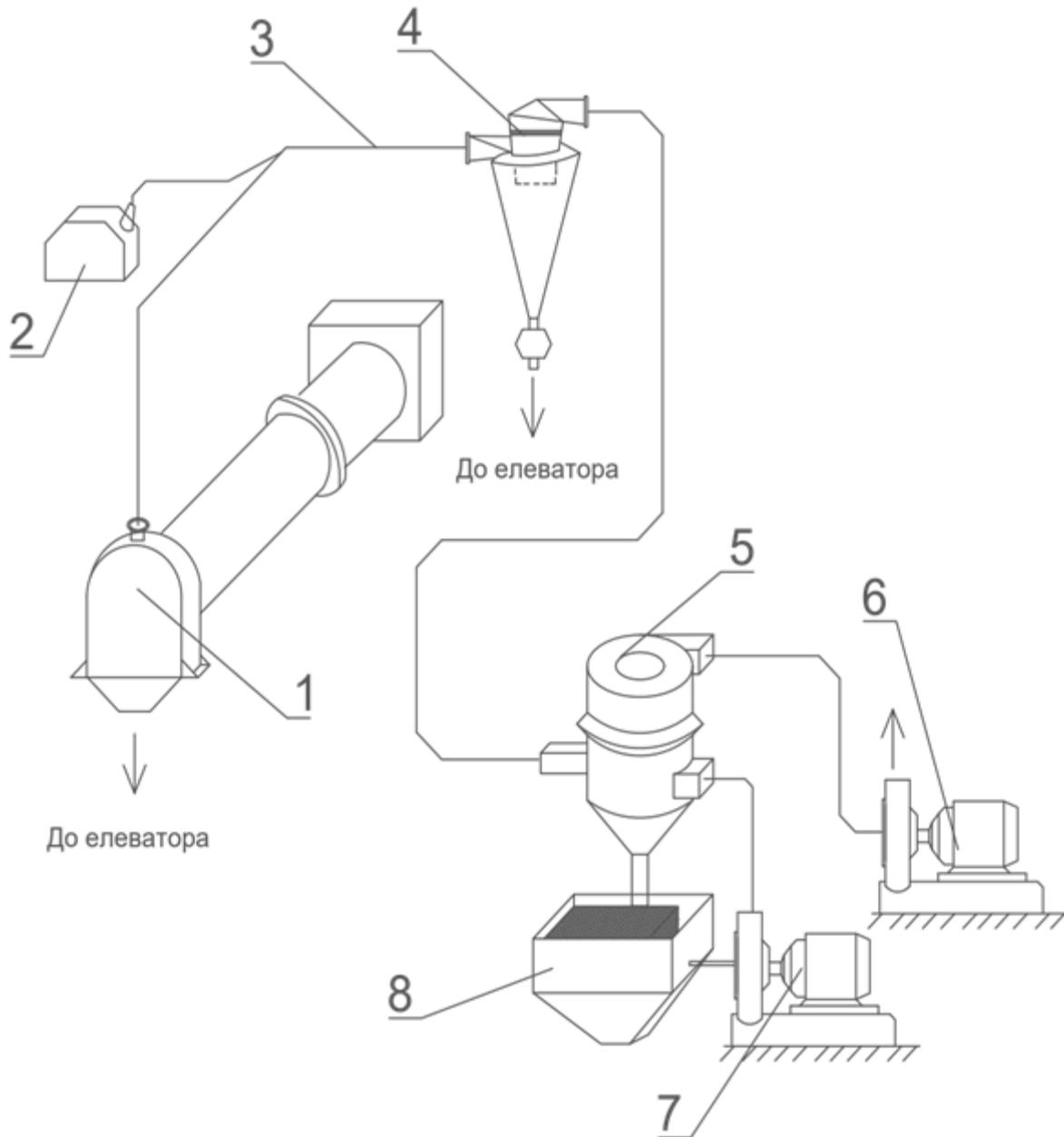


Рис. 2. Схема аспіраційної системи зі встановленням пиловловлювача циклонного типу з дисковим водорозпилювачем: 1 – сушильний барабан; 2 – місцевий

відсмоктувач; 3 – газохід; 4 – сухий циклон СІОТ №5; 5 – пиловловлювач циклонного типу з дисковим водорозпилювачем; 6 – відцентровий насос; 7 – відцентровий вентилятор; 8 – шламозбірник

На рис. 3 представлена схема аспіраційної системи з пиловловлювачем циклонного типу з дисковим водорозпилювачем, встановленим на нагнітальній ділянці.

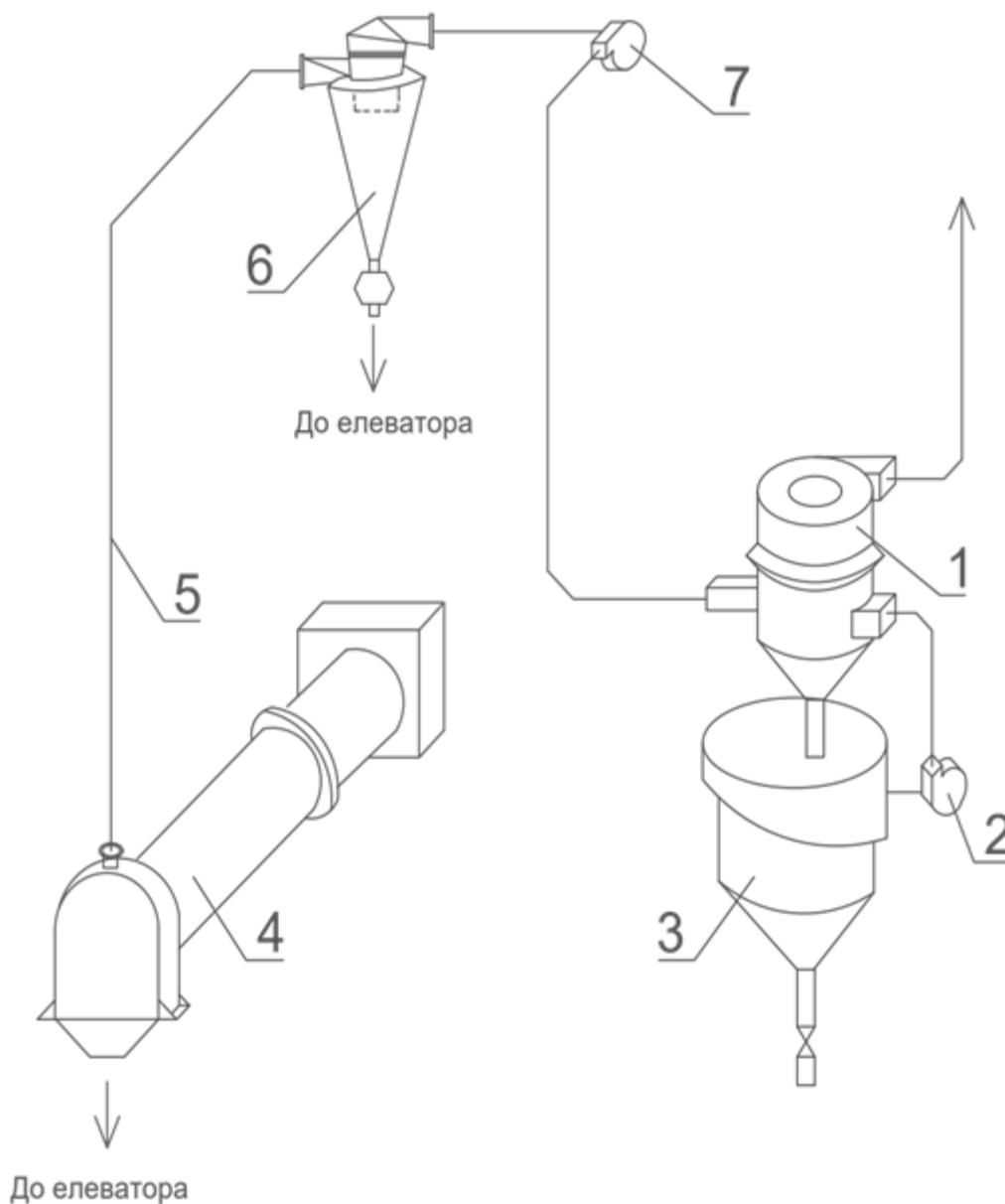


Рис. 3. Схема аспіраційної системи зі встановленням пиловловлювача циклонного типу з дисковим водорозпилювачем

на нагнітанні: 1 – пиловловлювач циклонного типу з дисковим водорозпилювачем; 2 – відцентровий насос; 3 – шламозбірник вертикального типу; 4 – сушильний барабан; 5 – газохід; 6 – сухий циклон CIOT №5; 7 – відцентровий вентилятор

Характеристика аспіраційних викидів сушильних установок полягає в тому, що при сушці піску (одного з компонентів шихти для скломаси) із сушильних барабанів типу СМ-45 видаляються запилені газы, температура яких досягає 200 °С [27]. Обсяг аспіраційних викидів змінювався залежно від технологічного процесу сушіння і становив 3800–6000 м³/год.

Кількість пилу, що захоплюється газами із сушильного барабана, змінюється у часі та досягає $17,0 \cdot 10^{-3}$ кг/м³.

Як видно з даних дисперсного складу пилу, поданого в табл. 3, пил кварцового піску є полідисперсним.

Мінералогічний склад пилу (табл. 4), що міститься в аспіраційних викидах, показує, що пил є силікозонебезпечним [28].

За даними лабораторних досліджень щільність пилу піску становить 2566 кг/м³.

Крім того, вміст води аспіраційних викидів змінюється від 70 до 173,8 г/кг_{с.в.} в залежності від вологості піску, що надходить зі складу піску.

Таблиця 3

Дисперсний склад пилу, що міститься в аспіраційних викидах сушильного барабану піску

Розмір фракцій пилу, мкм	Вміст частинок по масі, %	Розмір фракцій пилу, мкм	Вміст частинок по масі, %
<1	0.4	16–25	13.1

1–1,6	0.2	25–40	20.7
1,6–2,5	0.3	40–60	40.8
2,5–4	0.6	60–75	8.9
4–6,3	0.4	75–90	4.9
6,3–10	2.5	90–100	2.0
10–16	4.4	>100	0.8

Таблиця 4

Мінералогічний склад пилу піску, що міститься в аспіраційних викидах сушильного барабану

Компоненти	Вміст частинок по масі, %
SiO ₂	98.0
CaO	1.1
Al ₂ O ₃	0.25
MgO	0.18
Fe ₂ O ₃	0.07
MnO	0.15
Втрати при прожарюванні	0.25

Натурні виробничі дослідження пиловловлювача циклонного типу з дисковим водорозпилювачем (рис. 1) в промислових умовах проводились у складі аспіраційних систем наведених на рис. 2, 3.

У процесі досліджень продуктивність пиловловлювальної установки по об'єму аспіраційних викидів змінювалася від 3856 до 5622 м³/год в залежності від технологічного процесу сушіння піску.

При проведенні промислових досліджень проводили виміри

температури взаємодіючих середовищ, витрату води на другий ступінь очищення, запиленість газів з концентрацією механічних домішок в оборотній воді та вміст запилених газів [29].

Результати виробничих досліджень аспіраційних систем у зимовому та літньому режимі представлені в табл. 6.

В результаті досліджень з визначенням дисперсного складу пилу встановлено, що в першому ступені очищення вловлюється пил з медіанним діаметром частинок 26 мкм.

Аналіз даних дисперсного складу пилу показав, що на другий ступінь очищення пилу надходили гази, що містять частинки пилу $b_{50}=10$ мкм.

При взаємодії пилогазової суміші з факелом диспергованої рідини відбувається інтенсивна коагуляція і винесення твердих частинок з газового потоку на стінки корпусу з подальшим видаленням в шламовідстійник. За даними досліджень встановлено, що концентрація механічних домішок у освітленій воді, що повторно використовується в процесі пиловловлення, змінювалася від 0,2 до 2,865 г/л при медіанному діаметрі частинок 4 мкм [30].

Ефективність пиловловлення залежить, як впливає з даних табл. 6., від багатьох факторів і становить у другому ступені очищення при різних режимах від 90 % до 98,9 %.

В результаті математичної обробки даних досліджень представлених у табл. 3, отримана емпірична залежність ефективності пиловловлення в пиловловлювачі циклонного типу з дисковим водорозпилювачем:

$$\eta = 100 - 0.131 \left(\frac{W}{L} \right)^{-0.49} \cdot Z_n^{0.48} \cdot (1.06 - 2.36 \cdot C_n) \cdot \left(8.61 - \frac{2251.7}{\theta} \right) \cdot \left(\frac{423.2}{T} - 0.072 \right), \% \quad (3)$$

де W – витрата води на пиловловлення, кг/год;

L – об'єм запилених газів, м³/год;

Z_n – початкова запиленість на вході в мокрий пиловловлювач, кг/м³;

C_n – остаточна концентрація твердих частинок в освітленій воді, що надходить на розпилення, кг/кг води;

θ – температура освітленої води, що надходить на пиловловлення, К;

T – температура запилених газів на вході в мокрий пиловловлювач, К.

Формула застосовна за температури газів 375–475 К, води 283–320 К, використанні дискового розпилювача та наявності дрібнодисперсного пилу з медіанним діаметром 10 мкм.

В результаті тривалої експлуатації пиловловлювача циклонного типу з дисковим водорозпилювачем встановлено, що нова конструкція пиловловлювача крім підвищеної ефективності відрізняється надійністю роботи на оборотній воді з вмістом механічних домішок до 2,0 кг/м³. У процесі експлуатації визначено оптимальні умови процесу пиловловлення. Досвідченим шляхом визначено періодичність вивантаження шламу із шламовідстійника, що становить приблизно 2 місяці.

Відмінною особливістю конструкції пиловловлювача циклонного типу з дисковим розпилювачем при внутрішній рециркуляції робочої рідини (рис. 1) є компактність апарату.

Для запобігання обертальному руху робочої рідини в апараті передбачені планки гасники хвиль. Зрив газовим потоком плівки рідини, що піднімається по конусній насадці розпилювача, що обертається, запобігається захисним кільцем.

З метою зменшення виносу частинок розпиленої рідини біля місця зустрічі фільтрувальної завіси, з корпусом апарату, у верхній частині V-

подібної кільцевої камери встановлений кільцевий виступ.

Вловлений пил захоплюється по стінках апарата в шламозбірник. Тверді частки осідають на дно шламовідстійника і періодично видаляються із шламозбірника через штуцер.

Освітлена рідина (вода) перекачується дисковим розпилювачем і таким чином багаторазово використовується в процесі пиловловлення.

Для дослідження ефективності пиловловлення в апараті пиловловлювача циклонного типу з дисковим розпилювачем при рециркуляції робочої рідини були виготовлені з нержавіючої сталі три зразки пиловловлювача діаметром 1,0 м, висотою 1,32 м, продуктивністю до 5000 м³/год.

Маса кожного зразку складала 105 кг. Потужність електродвигуна розпилювача дорівнювала 0,6 кВт при $\omega=2930$ об/хв.

Дослідно-промислові зразки пиловловлювача встановлені в двох аспіраційних системах (рис. 4, 5) у термічному цеху Київського машинобудівного заводу.

Для запобігання потрапляння дрібних крапель води в газохід до вентилятора аспіраційної системи соляних ванн (рис. 4) встановлено сепаратор.

В аспіраційній системі селітрових ванн (рис. 5) паралельно встановлено два зразки пиловловлювача, що забезпечують очищення об'єму аспіраційних викидів.

Виробничі дослідження ефективності пиловловлення в даному апараті проводилися при номінальному навантаженні технологічного обладнання.

При дослідженні роботи пиловловлювача в аспіраційній системі соляних та лужних ванн (рис. 4) ефективність пиловловлення визначалася при двох режимах технологічного процесу термічної обробки дрібних деталей:

1. При роботі однієї соляної ванни з температурою середовища 830 °С та двох лужних ванн з температурою середовища 185 °С.

2. При роботі однієї соляної ванни з температурою середовища 1100 °С і трьох лужних ванн з температурою середовищ відповідно 210, 300 і 360 °С.

Аспіраційна система селітрових ванн досліджувалась при термічній обробці деталей з температурою 600 °С.

Під час виробничих досліджень проводили заміри запиленості аспіраційних викидів шляхом відбору проб на аналітичні фільтри АФА-В-18, витрати запилених газів, температури взаємодіючих середовищ та витрати води [31].

Натурними дослідженнями встановлено, що концентрація пилу в аспіраційних викидах соляних ванн на вході в пиловловлювач досягала 200 мг/м³. Об'єм запилених газів становив 5130 м³/год.

З даних дисперсного складу пилу (табл. 5) слід зазначити, що пил є розчинним дрібнодисперсним з медіанним діаметром частинок 6 мкм.

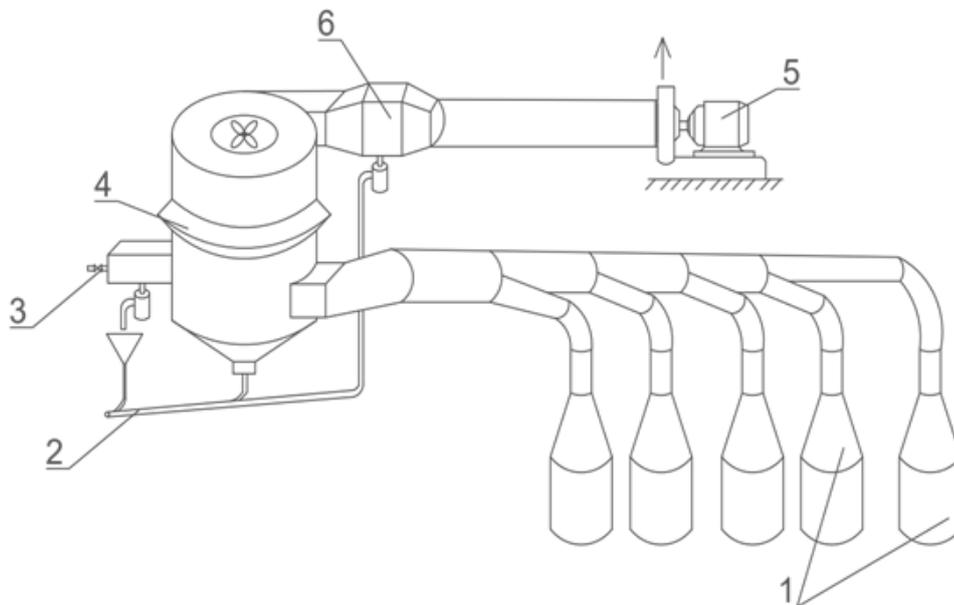


Рис. 4. Схема аспіраційної системи соляних ванн Київського машинобудівельного заводу: 1 – соляні ванни; 2 – шламопровід; 3 – водопровід; 4 – пиловловлювач циклонного типу з дисковим

водорозпилювачем; 5 – центробіжний вентилятор типу Ц6-46 №6;
6 – сепаратор

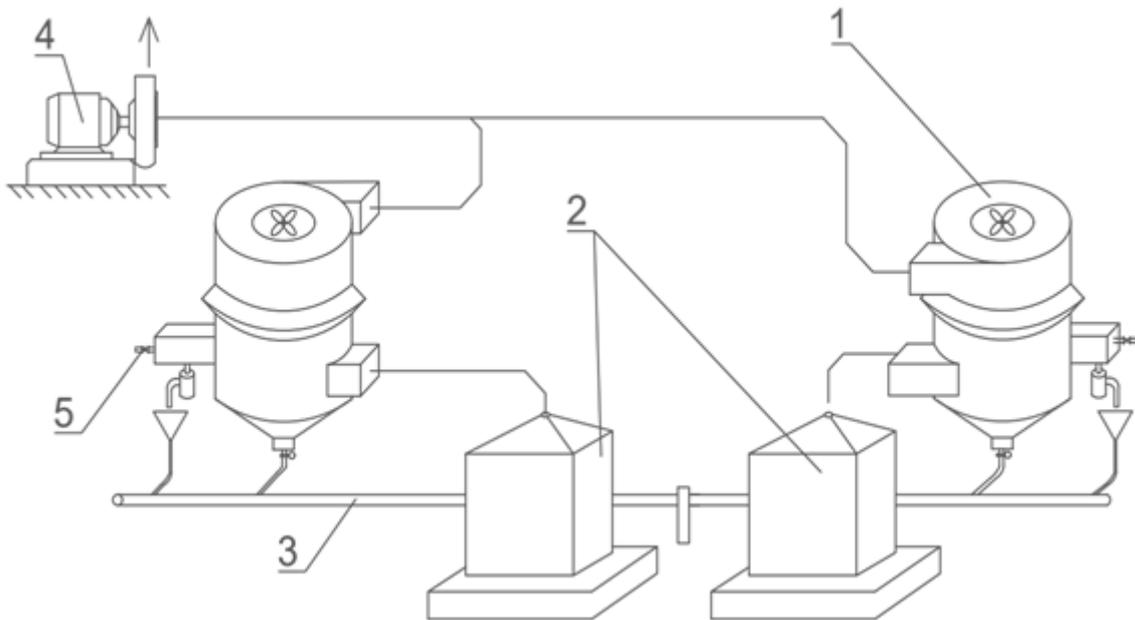


Рис. 5. Схема аспіраційної системи селітрових ванн Київського машинобудівельного заводу: 1, 6 – пиловловлювач циклонного типу з дисковим водорозпилювачем; 2 – селітрові ванни; 3 – шламопровід; 4 – відцентровий вентилятор; 5 – водопровід

Таблиця 5

Дисперсний склад пилу в технологічних газах, що поступають у пиловловлювач

Найменування пилу	Розмір частинок, мкм						
	0–2	2–4	4–6	6–8	8–10	10–12	12–15
Пил, що міститься в газах від соляних та лужних ванн, % за масою	0.5	13.7	25.6	33.1	8.6	16.5	2.0

Пил, що міститься в газах від селітрових ванн, % за масою	0.3	9.3	22.8	34.4	18.9	10.7	3.6
---	-----	-----	------	------	------	------	-----

Кінцева запиленість газу після очищення не перевищує 5 кг/м³. Гідравлічний опір апарату становив 520 Па. Ефективність пиловловлення досягала 97,4 %.

При дослідженні пиловловлювачів в аспіраційній системі селітрових ванн об'єм запилених газів, що надходять на кожен пиловловлювач, складає 3950 м³/год при концентрації пилу від 170,5 до 212,0 мг/м³ з медіанним діаметром частинок 6 мкм. Температура газів становила 45,0 °С. Ефективність пиловловлення досягала 92,7 %. Гідравлічний опір апарату становив 450 Па.

Результати промислових досліджень подано в табл. 2.

Ефективність пиловловлювання доломітового пилу з медіанним діаметром частинок 10 мкм досягло 97,4 %.

5. 2. Оцінка ефективності пиловловлювачів циклонного типу з дисковими розпилювачами в різних умовах експлуатації

Ефективність пиловловлювачів циклонного типу з дисковими розпилювачами визначається їх конструктивними особливостями, а також впливом експлуатаційних факторів, таких як температура, вологість і дисперсність пилу. Для оцінки роботи цих систем необхідно провести лабораторні та промислові випробування, що дозволять встановити оптимальні умови їх застосування.

Промислову перевірку пиловловлювача з очищення аспіраційних викидів від органічного пилу здійснювали у системі аспірації на Новгород-Сіверському сирзаводі в цеху лактози. Пиловловлювач циклонного типу з дисковим розпилювачем встановлений за сушильною установкою молочного цукру в киплячому шарі. Аспіраційні викиди об'ємом 3200 м³/год при температурі 40–60 °С а запиленістю до

1455 мг/м³ при б₅₀=10 мкм надходили в пиловловлювач. Щільність пилу молочного цукру складає 1200 кг/м³. Результати дослідження представлених у табл. 6.

Таблиця 6

Результати виробничих досліджень пиловловлювача РЗ-ППТ в цеху лактози Новгород-Сіверського сировиробничого заводу (очищення повітря, що містить пил молочного цукру)

Порядковий номер дослідження	Об'єм повітря на вході в пиловловлювач, м ³ /год	Температура повітря, °С	Витрата води, м ³ /год	Температура розпилювальної води, °С	Концентрація пилу у повітрі, мг/м ³		Ступінь очищення повітря, %	Гідравлічний опір, Па
					На вході в апарат	На виході з апарату		
№1	3600	40.0	0.36	10.0	268.0	7.4	97.3	402.2
№2	3600	40.0	0.36	10.0	480.0	8.3	98.4	412.0
№3	3730	42.0	0.40	9.6	384.0	4.0	98.9	421.8
№4	3700	30.0	0.40	9.6	283.2	8.3	97.2	421.0
№5	3220	37.0	0.32	9.0	1180.0	9.9	99.1	421.8
№6	3220	38.0	0.32	9.0	785.0	9.1	98.9	421.8
№7	3220	37.0	0.32	9.0	217.5	5.5	97.6	421.8
№8	3220	39.5	0.32	9.0	396.0	7.3	98.3	421.8
№9	3260	46.0	0.33	10.5	194.2	5.0	97.5	412.0
№10	3260	45.0	0.33	10.5	104.0	2.5	97.6	412.0

№11	3280	60.0	0.33	10.5	1455.0	5.0	97.7	412.0
№12	3200	40.0	0.32	10.0	194.0	5.0	97.5	421.8

Дані досліджень показують високу ефективність очищення в 99,7 %. Це підтверджує доцільність використання пиловловлювачів циклонного типу з дисковими розпилювачами для очищення аспіраційних викидів, зокрема від дрібнодисперсного органічного пилу.

5. 3. Аналіз впливу основних факторів та аеродинамічного опору на ефективність очищення повітря

Для забезпечення оптимальної ефективності очищення повітря необхідно визначити аналітичні залежності ступеня очищення від основних факторів впливу, а також оцінити вплив аеродинамічного опору пиловловлювача на продуктивність і результативність процесу очищення.

Згідно загальних експериментальних даних щодо досліджень пиловловлювача на мінеральному пилу [32], отримана емпірична залежність для визначення ступеня очищення аспіраційних викидів в наступному вигляді:

а) для прямо току:

$$\eta_{\text{оо}} = 87.22 \cdot Stk^{0.02} \left(1 + 0.35 \frac{Z_H}{C_T} \right) \left(1 + 0.27 \frac{d_r}{\rho_r} \right) \left(1 - 1.363 \cdot 10^{-6} \cdot Re_{\kappa} \right) \left(1 + 0.95 \cdot 10^{-4} \frac{h_{\phi}}{l_{\phi}} \right), \quad (4)$$

б) для протитечії:

$$\eta_{\text{оо}} = 72.62 \cdot Stk^{0.02} \left(1 + 0.665 \frac{Z_H}{C_T} + 342.42 \frac{Z_H}{C_T} \right)^2 \left(1 + 0.127 \frac{d_r}{\rho_r} \right) \left(1 + \frac{10.34}{Re_{\kappa}} + 8.3 \cdot 10^{-4} \cdot Re_{\kappa} \right) \left(1 - 51.23 \cdot 10^{-4} \frac{h_{\phi}}{l_{\phi}} \right), \quad (5)$$

У тих випадках, коли концентрація механічних домішок для перевищує 2,5 кг/м³, можна для визначення загальної ефективності очищення скористатися формулою Лебедюка [33]:

$$\eta_{\text{об}} = \eta_{2.5} - \frac{q}{Z_n} C_T, \quad (6)$$

де:

$\eta_{2.5}$ – ефективність очищення з рециркуляцією рідини, що має вміст 2.5 кг/м³ механічних домішок;

q – величина краплевиносу, розрахована за залежністю:

$$\frac{q}{\rho_r} = 7.29 \cdot 10^{-3} \left(\frac{284.6}{\text{Re}_k} - 1 \right) \left(1.67 - 0.9 \cdot 10^{-6} \cdot \text{Re}_a \right) \left(1.11 - \frac{4324.1}{\frac{W}{h_\phi \cdot \mu_r}} \right), \quad (7)$$

$$\text{де } \text{Re}_k = \frac{v_k \cdot d_{3,2} \cdot \rho_r}{\mu_r}; \quad (8)$$

$$\text{Re}_a = \frac{v_{\text{ex}} \cdot D_a \cdot \rho_r}{\mu_r}. \quad (9)$$

З представлених рівнянь впливає дана методика розрахунку:

I. Визначення ступеня очищення повітря від пилу.

Вихідні дані:

1. Об'єм газів, що очищаються, L, м³/год.
2. Температура газів, t_r , °C.
3. Вологовміст газів, d_r , кг/кг с.г.
4. Початкова запиленість, Z_n , кг/м³.
5. Фізико-хімічні властивості пилу (дисперсний склад, щільність та вид пилу).
6. Витрата води, W м³/год.
7. Температура води, що надходить у пиловловлювач, θ , °C.
8. Концентрація механічних домішок у воді, що надходить для пиловловлення, C_T .

Приймається:

1. Тип пиловловлювача з дисковим розпилювачем з продуктивністю, L, м³/год.

2. Схема водопостачання пиловловлювача.
3. Частота обертання дискового розпилювача, ω , 1/с.
4. Напрямок руху контактуючих фаз.

Визначається:

1. Середня швидкість газів активної зони, $U_{a,3}$, м/с.
2. Об'ємно-поверхневий діаметр краплі суспензії (води), $d_{3,2}$ м.
3. Критерій Стокса:

$$Stk = \frac{d_4^2 \cdot \rho_4 \cdot U_{a,3}}{18\mu_r \cdot d_{3,2}} \quad (10)$$

4. Критерій Рейнольдса для краплі:

$$Re_\kappa = \frac{U_\kappa \cdot d_{3,2} \cdot \rho_\Gamma}{\mu_\Gamma} \quad (11)$$

5. Критерій Рейнольдса для газового потоку:

$$Re_\Gamma = \frac{U_\Gamma \cdot l \cdot \rho_\Gamma}{\mu_\Gamma} \quad (12)$$

6. Критерій Рейнольдса для апарату:

$$Re_a = \frac{U_{ex} \cdot D_a \cdot \rho_\Gamma}{\mu_\Gamma} \quad (13)$$

7. Ступінь очищення викидів в залежності від типу розподілення [34]:

а) для прямо току:

$$\eta_{об} = 87.22 \cdot Stk^{0.02} \left(1 + 0.35 \frac{Z_H}{C_T} \right) \left(1 + 0.27 \frac{d_r}{\rho_r} \right) \left(1 - 1.363 \cdot 10^{-6} \cdot Re_\kappa \right) \left(1 + 95.07 \cdot 10^{-4} \frac{h_\phi}{l_\phi} \right), \quad (14)$$

б) для протитечії:

$$\eta_{об} = 72.62 \cdot Stk^{0.02} \left[1 + 0.665 \frac{Z_H}{C_T} + 342.42 \left(\frac{Z_H}{C_T} \right)^2 \right] \left(1 + 0.126 \frac{d_r}{\rho_r} \right) \left(1 + \frac{10.34}{Re_\kappa} + 8.3 \cdot 10^{-4} \cdot Re_\kappa \right) \left(1 - 51.23 \cdot 10^{-4} \frac{h_\phi}{l_\phi} \right), \% \quad (15)$$

8. Гідравлічний опір пиловловлювача визначається за рівнянням:

а) для прямо току:

$$\Delta p = 74.1 \cdot \rho_{\Gamma} \cdot v_{a,3}^2 \left(1 + \frac{6190.8}{v_{a,3} \cdot D_g \cdot \rho_{\Gamma}} \right) \left(1 + 0.22 \frac{\mu}{\rho_{\Gamma}} \right) \left(1 + 85.1 \frac{\mu_{\Gamma} \cdot \omega}{v_{a,3}^2 \cdot \rho_{\Gamma}} \right) \left(1 + 2.29 \cdot 10^{-6} \frac{v_{a,3} \cdot D_a \cdot \rho_{\Gamma}}{\mu_{\Gamma}} \right) \left(1 + \frac{1.04 \cdot 10^{-6} \cdot v_{a,3} \cdot h_{\phi} \cdot \rho_{\Gamma}}{\mu_{\Gamma}} \right);$$

(16)

б) для протитечії:

$$\Delta p = 349.33 \cdot \rho_{\Gamma} \cdot v_{a,3}^2 \left(1 - 1.36 \cdot \frac{m}{\rho_{\Gamma}} \right) \left(\frac{\omega \cdot \mu_{\Gamma}}{v_{a,3}^2 \cdot \rho_{\Gamma}} \right)^{0.11} \left(1 - 0.21 \cdot 10^{-6} \frac{v_{a,3} \cdot D_a \cdot \rho_{\Gamma}}{\mu_{\Gamma}} \right) \left(1 + 0.675 \cdot 10^{-5} \frac{v_{a,3} \cdot h_{\phi} \cdot \rho_{\Gamma}}{\mu_{\Gamma}} \right) \left(1 + 0.121 \cdot 10^{-7} \frac{v_{a,3} \cdot D_g \cdot \rho_{\Gamma}}{\mu_{\Gamma}} \right).$$

(17)

II. Визначення конструктивних параметрів пиловловлювача з дисковим розпилювачем, вихідні дані ті самі.

Приймається:

1. Допустима концентрація пилу в газах, що викидаються в атмосферу згідно ДСП 201-97 та ДСТУ 7303:2013 при $L \leq 15$ тис. м³/год:

$$Z_B = (160 - 4L) \cdot k, \quad (18)$$

де k – коефіцієнт, що приймається по табл. в залежності від ГДК в робочій зоні [35];

2. Частота обертання дискового розпилювача (ω):

$$25 \leq \omega \leq 50, \text{ 1/с};$$

3. Радіус диску розпилювача (R_g), $0.125 \leq R_g \leq 0.175$, м;

4. Центральний кут конусної насадки розпилювача ($50-70^\circ$);

5. Швидкість газів у вхідному патрубку ($U_{вх}$):

$$16 \leq U_{вх} \leq 26, \text{ м/с};$$

6. Швидкість газів в активній зоні ($U_{a,3}$), $2.0 \leq U_{a,3} \leq 3.0$, м/с.

Визначається:

1. Необхідний ступінь очищення аспіраційних викидів [36]:

$$\eta_{TP} = \frac{Z_H - Z_B}{Z_H} \cdot 100, \%$$

(19)

2. Діаметр циліндричного корпусу апарату:

$$D_a = \frac{1}{30} \sqrt{\frac{L}{\pi \cdot v_{a,3}}}, \text{ м.}$$

(20)

3. Кількість дисків розпилювача:

$$n = 23.6 - \frac{(1 - \eta_{TP}) \left(\frac{W}{\pi \cdot v_{\Gamma} (R_a + R_g)} \right)^{0.44}}{0.256 \cdot 10^{-5} \left(\frac{R_g^4 \omega^2 \rho_{жс}}{d_4 \cdot \sigma_{жс}} \right)^{0.37}}, \text{шт.} \quad (21)$$

4. Висота кільцевої камери:

$$h = 0.025(n - 1) + 0.085, \text{ м.} \quad (22)$$

5. Діаметр кільцевої камери:

$$D_{\kappa} = D_a + \frac{h}{\operatorname{tg} \alpha}, \quad (23)$$

де $\alpha = 40^\circ$ – кут між конічною частиною кільцевої камери та площини до вертикальної осі апарату.

6. Відстань між верхньою стінкою вхідного патрубку і кришки пиловловлювача [23]:

$$l = \pi \cdot D_f \cdot t_g \beta, \text{ м,} \quad (24)$$

де $\beta = 12^\circ$ – кут підйому потоку газу по гвинтовій лінії;

7. Висота конічного шламосбірника:

$$h_{\text{ши}} = \frac{D_a}{2} \cdot \operatorname{ctg} \gamma - 0.03, \text{ м,} \quad (25)$$

де $\gamma = 50^\circ$ – кут між конічним шламосбірником та вертикальною віссю апарату;

8. Висота вхідного патрубку:

$$h_{\text{вх}} = \sqrt{\frac{1.4 \cdot L}{3600 \cdot v_{\text{вх}}}}, \text{ м,} \quad (26)$$

9. Висота вихідного патрубку:

$$h_{\text{вих}} = \sqrt{\frac{1.68 \cdot L}{3600 \cdot v_{\text{вих}}}}, \text{ м,} \quad (27)$$

10. Висота корпусу пиловловлювача:

$$H = l + h_{\text{ex.n}} + \frac{D_a}{2} \cdot \text{tg } 8^\circ + h_{\text{uit}}, \quad (28)$$

11. Діаметр трубопроводу, що з'єднує бак з чашою робочої рідини:

$$d_{TP} = \frac{1.13 \sqrt{\frac{W}{3600}}}{\sqrt{\varphi (2g \cdot h_y)^{0.25}}}, \quad (29)$$

де φ – коефіцієнт витрати, що визначається за формулою:

$$\varphi = \frac{0.61}{\sqrt{\varphi_n + 1}}, \quad (30)$$

де $\varphi_n=0.06$ – приведений коефіцієнт місцевих опорів;

$h_y=0.025$ м – різниця рівнів в підживлювальному баці і чаші;

$g=9.81$ м/с.

12. Діаметр трубопроводу для подавання води в бак:

$$d_{TP}^I = \frac{1}{30} \sqrt{\frac{W}{\pi \cdot \omega_B}}, \quad (31)$$

де ω_B – швидкість води в трубопроводі (1.5–2.0 м/с).

6. Обговорення результатів узагальнення та аналіз результатів дослідження пиловловлювача з дисковим розпилювачем

Дослідження пиловловлювача з дисковим розпилювачем здійснено як у лабораторних, так і у виробничих умовах. Отримані результати свідчать про суттєвий вплив дисперсності та типу пилу на ефективність очищення (табл. 6).

Аналіз результатів показав, що ефективність очищення повітря значно підвищується при видаленні гідрофільного пилу – на 35 % порівняно з гідрофобним пилом. Це узгоджується з роботами [17], які підтверджують кращу змочуваність гідрофільних частинок. Найбільш складним для вловлення є дрібнодисперсний ливарний пил із включенням сажових частинок, що пояснюється утворенням газової плівки на їхній поверхні, яка ускладнює змочування [29]. Вплив вмісту

олії в сажі також є важливим фактором, що знижує ефективність очищення. Це підтверджується експериментами [22], де зазначається подібний ефект.

За припущеннями авторів статті різниця температур часток пилу в повітряному потоці та крапель диспергованого водяного розчину може впливати на ефективність процесу пиловловлювання. Експериментально виявлено, що при контакті часток пилу розміром менше 10 мкм з краплями води, які мають на 40 °С і більше температуру, порошинки пилу та води відштовхуються, тоді як більш холодні краплі захоплюють частинки пилу. Це узгоджується з механізмом міжмолекулярної взаємодії, описаним у [8].

Дослідження також підтвердили, що ефективність зіткнення частинок кварцу з краплями води залежить від ступеня запилення поверхні краплі. При диспергуванні рідини з механічними домішками частинки кварцу утворюють колонії на краплях, що знижує ефективність їх взаємодії. Проте збільшення дисперсності розпилу сприяє зростанню кількості частинок, що взаємодіють із краплями. Підвищення ефективності очистки спостерігається при підвищенні концентрації домішок в рідині до 2,5 кг/м³ (табл. 2, досліди 1 та 9), що також підтверджується дослідженнями [14].

Обмеження даного дослідження полягають у його застосовності лише до запилених газів із температурою до 475 К та пилу з медіанним діаметром частинок до 10 мкм [21]. Крім того, ефективність пиловловлення для інших типів пилу може відрізнятися, що потребує додаткових досліджень.

Серед недоліків можна відзначити необхідність високоточного контролю параметрів диспергування рідини та підтримки стабільності аерозольного факела [24]. У перспективі можливе вдосконалення конструкції розпилувача для поліпшення змочуваності гідрофобних

частинок та зниження витрат води.

Подальший розвиток дослідження може бути спрямований на оптимізацію конструкції дискових розпилювачів та моделювання процесів змочування частинок за допомогою CFD-аналізу. Виклики на цьому шляху включають складність точного моделювання взаємодії крапель із пиловими частинками та необхідність розширених експериментальних випробувань.

7. Висновки

1. Експериментальні дослідження показали, що пиловловлювач циклонного типу з дисковим розпилювачем забезпечує ефективність очищення до 99,7 % при видаленні органічного пилу та 97,4 % при очищенні мінерального пилу (табл. 6). Висока ефективність пояснюється впливом аеродинамічного поля та рівномірного розподілу крапельної фази у потоці. Порівняно з традиційними циклонами, запропонована конструкція дозволяє значно знизити викиди твердих частинок в атмосферу, що підтверджує доцільність її застосування на промислових підприємствах.

2. Дослідження конструкції пиловловлювачів з дисковими розпилювачами показали, що оптимізація параметрів насадки та форми розпилювача дозволяє досягти рівномірного розподілу рідини та покращити ефективність уловлювання пилу. Дисперсність пилу та його змочуваність є критичними факторами: гідрофільний пил видаляється на 35 % ефективніше, ніж гідрофобний. Це вказує на необхідність використання додаткових поверхнево-активних речовин або попередньої обробки запиленого повітря для підвищення ефективності очищення.

3. Отримані аналітичні залежності дозволяють визначити ступінь очищення повітряного потоку залежно від параметрів дисперсного середовища. Аналіз показав, що підвищення концентрації домішок у

робочій рідині до $2,5 \text{ кг/м}^3$ сприяє покращенню пиловловлення, однак подальше збільшення концентрації призводить до утворення стійких аерозолів, що погіршує ефективність процесу. Виявлено, що зменшення гідравлічного опору пиловловлювача дозволяє підвищити його продуктивність без втрати ефективності очищення, що є важливим для промислових умов експлуатації.

Література:

1. Organiscak J. A., Noll J., Yantek D., Kendall B. (2016). Examination of a newly developed mobile dry Scrubber (DS) for coal Mine dust control applications. NIOSH, Pittsburgh, PA, United States. [https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-](https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84988316971&partnerID=40&md5=a4abfbcccb23e38f600e3047cbda2c3c)

84988316971&partnerID=40&md5=a4abfbcccb23e38f600e3047cbda2c3c

2. Bahloul Ali, Djebara Abdelhakim, Saidi Mohamed N. and Songmene Victor (2015). Simulating grinding dust dispersion and assessment of the efficiency of local capture ventilation. Chemical and Biological Hazards Prevention, Institut Robert-Sauvé en Santé et Sécurité du Travail, Montréal, Canada. [https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-](https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84987971010&partnerID=40&md5=cbade28442174a38505b8bca34d09dec)

84987971010&partnerID=40&md5=cbade28442174a38505b8bca34d09dec

3. Jeon Tae-Yeong, Kim Jae-Yong (2015). Characterization of fine dust collection using a filter ventilation. Department of Environmental Engineering, Chungbuk National University, 362-763, Chungcheongbuk-do, South Korea. [https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-](https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84928411555&doi=10.14478%2face.2015.1022&partnerID=40&md5=de7670706aa4804b235c5e4134d93c76)

84928411555&doi=10.14478%2face.2015.1022&partnerID=40&md5=de76

70706aa4804b235c5e4134d93c76

4. Kateusz Przemysław (2015). Estimation of uncertainty of mean velocity of flue gas in a conduit as determined by the traverse method within the gravimetric measurement of particulate concentration. Silesian University of Technology, Department of Heating, Ventilation and Dust

Removal Technology, ul. Konarskiego 20, Gliwice, 44-100, Poland.
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84939185777&doi=10.1016%2fj.flowmeasinst.2015.07.014&partnerID=40&md5=c2a6079350c981ec02166b9d36d231b8>

5. Jiang Zhong-An, Zhang Yi-Kun, Wang Ming (2016). Study and practice on dust control technology in fully mechanized excavation face. School of Civil and Environmental Engineering, University of Science and Technology—Beijing, Beijing, China.
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85016767139&partnerID=40&md5=94d605a202bc1365106dc68ef2d760a7>

6. Babaei Morteza, Bahrami Abdolrahman, Shahna Farshid Gorbani (2017). Control of fugitive dust emitted by combination of water spray and industrial ventilation as an efficient and economical solution at a mining company. Department of Occupational Health Engineering, Faculty of Public Health, Research Center for Health Science, Hamadan University of Medical Science, Hamadan, Iran.
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85029471775&partnerID=40&md5=26a26b4248ff49d873557f226061865d>

7. Zhao Haiming, Xie Xin, Xia Yimin, Liao Xiaole (2017). Research on operation parameters of three-phase flow in wet dust collecting fan. School of Mechanical and Electrical Engineering, Central South University, Changsha, 410083, China.
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85026837770&doi=10.11817%2fj.issn.1672-7207.2017.06.013&partnerID=40&md5=6c72ea27bb02307ad39dc991f0415ddd>

8. Arya Sampurna, Sottile Joseph, Novak Thomas (2018). Development of a flooded-bed scrubber for removing coal dust at a longwall mining section. Department of Mining Engineering, University of Kentucky,

Lexington, KY, United States.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0->

85052096035&doi=10.1016%2fj.ssci.2018.08.003&partnerID=40&md5=6424f4d4e952a9ab9992bab95eb568e5

9. Liu Yang, Xia Tianjie, Wang You, Chen Jinzhu, Li Xiaochuan (2020). Simulation and experimental investigation of dust-collecting performances of different dust exhaust hoods. School of Nuclear Science and Engineering, North China Electric Power University, Beijing, China.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0->

85094645662&doi=10.1080%2f10962247.2020.1813841&partnerID=40&md5=f9785e5b7aaa81a61eab4be4dcff19ed

10. Yin Wenjing, Zhou Gang, Liu Dong, Meng Qunzhi, Zhang Qian, Jiang Tao (2021). Numerical simulation and application of entrainment dust collector for fully mechanized mining support based on orthogonal test method. College of Aeronautical Engineering, Weifang Engineering Vocational College, Weifang, 262501, China.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0->

85098108778&doi=10.1016%2fj.powtec.2020.10.059&partnerID=40&md5=5e8fae1d9ee947a62f8fb27e402d405a

11. Fang Xueming, Jiang Bingyou, Yuan Liang, Liang Yuxiang, Ren Bo, Tao Wenhan, Li Xianbao (2022). Experimental Study on Atomization Characteristics of Gas–Liquid Two-Phase Flow Nozzle and Its Dust Removal Effect. Key Laboratory of Industrial Dust Control and Occupational Health, Ministry of Education, Anhui University of Science and Technology, Huainan, 232001, China.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0->

85122887236&doi=10.3390%2fma15020565&partnerID=40&md5=ee80ac22aab9575bc098764a573b93d4

12. Zhao Xinli, Jia Jifeng, Li Xiaochuan, Wang Li, Wang Yuyao, Hu

Haibin, Shen Zhiyuan, Jiang Yefeng (2022). Potential Use of Wet Scrubbers for the Removal of Tobacco Dust Particles in the Tobacco Industry. School of Chemical Engineering and Technology, China University of Mining and Technology, Xuzhou, 221116, China. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85125658358&doi=10.3390%2fatmos13030380&partnerID=40&md5=3140e02a823d6ad75e06200731c23b36>

13. Angelina Chugai, Yuliia Bazyka (2019). Analysis of technogenic load on the air basin of industrial and urban agglomerations in Ukraine. *Environmental Problems* Vol. 4, No. 3, 2019, pp.167-173 DOI: <https://doi.org/10.23939/ep2019.04.167> (in English)

14. Шелюх Ю. Є. (2016). Дослідження впливу гідравлічного опору на продуктивність роботи вихрових пиловловлювачів нового покоління. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*, 13, 137-143. (українською)

15. Тисовський Л. О., Дорундяк Л. М., Ляшеник А. В., Дадак Ю. Р. (2010). Побудова математичної моделі для задачі про рух повітря в циклоні. *Всеукраїнський науково-технічний журнал ПГіП*. – 2010. – Вип. 2(28). – С. 57-62.

16. Ткачук, А. Я., Любарець, П. А., Петриченко, М. І., Степчук, І. Д. (1983). Пиловловлювач. Патент № 1044317 СРСР. Б.І. 1983, № 36, с. 19. (російською)

17. Зіняк, В. В., Ткачук, А. Я. (2001). Технологія очищення пилу в мокрих скрубберах. *Технологічний розвиток вентиляційних систем*, 13, 145–151. (українською)

18. Чакчір, Я. А., Петров, М. І., Петриченко, М. І., Сенько, П. М., Любарець, О. П. (1988). Пиловловлювач для мокрого очищення вентиляційних викидів. Патент № 1389825 СРСР. Б.І. 1988, № 15, с. 41. (російською)

19. Гаджієв, Е. Н., Варламов, Є. М. (2017). Аналіз дисперсії пилу в аспіраційних системах при виробництві теплоізоляційних матеріалів. Український науково-дослідний інститут екологічних проблем, Харків, 192. (українською)

20. Yu Yanbin, Fang Lianxin, Zhou Bo, Cui Wenting, Yin Shi, Song Kezhi (2025). Ventilation parameters' impact on artificial tornado-based cylindrical vortex dust removal system performance. State Key Laboratory of Mining Disaster Prevention and Control Co-founded by Shandong Province and the Ministry of Science and Technology, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, 266590, China. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-86000782144&doi=10.1016%2fj.ap.2025.104852&partnerID=40&md5=1a82ea8fb0e8328c480682d15688ecda>

21. Ратушняк, Г. С., Лялюк, О. Г. (2009). Пристрої для очищення газових викидів. IV НВКП "Укрґеліотех", 180. (українською)

22. Спінов В. М., Афтанюк В. В. (2011). Експериментальне дослідження кінетики мокрого пиловловлювача. Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» № 2 (84), с. 32-46. (українською)

23. Любарець, О. П., Микитенко, М. Р. (2023). Аналіз факторів, що впливають на стан знепилення аспіраційних викидів. *Вентиляція*, Київський національний університет будівництва і архітектури, випуск 46, 89. (українською). Джерело: <http://vothp.knuba.edu.ua/article/download/298374/291122> (українською)

24. Афтанюк В. В., Кіріс О. В., Даниленко Д. В., Афтанюк А. В. (2022). Розробка інтегрованої конструкції скрубера для суднових енергетичних установок. Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. Вип. 45-Одеса: НУ «ОМА», 2022.-201 с. (українською)

25. Ilyushin Y., Talanov N. (2025). Development of Methods and Models for Assessing Technical Condition of Mines and Underground Structures. Economics Faculty, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, 199106, Russian Federation. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85216569413&doi=10.5829%2fije.2025.38.07a.16&partnerID=40&md5=8db44633d6c2ee52b2065dea32e96679>

26. Приємов, С. І. (1971). Дослідження роботи мокрого пиловловлювача з дисковим розпилювачем в очищенні вентиляційних викидів. Дисертація. Київський національний університет будівництва і архітектури. (українською)

27. Jin Zijing, Hu Shengyong, Zhu Xiaotong, Feng Guorui, Sun Jian (2022). Research on wet-type swirl dust collection technology and its application in underground excavation tunnels. College of Safety and Emergency Management Engineering, Taiyuan University of Technology, 79 Yingzexi Street, Shanxi Province, Taiyuan, 030024, China. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85140910943&doi=10.1016%2fj.apr.2022.103851&partnerID=40&md5=29d2819a67dcd44863de4d0a0ffb22d1>

28. Concha-Lozano Nicolas, Muller Yan, Favreau Philippe, Suarez Guillaume (2025). Determination of ultrafine particle number emission factors from building materials in standardized conditions. Unit of Forensic Chemistry and Toxicology, CURML, Lausanne and Geneva University Hospital, Rue du Bugnon 19, Lausanne, 1011, Switzerland. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85218931381&doi=10.1093%2fannweh%2fwxae083&partnerID=40&md5=94158e67fb2dda5711351b1c2141b88d>

29. Микитенко, М. Р., Любарець, О. П. (2024). Дослідження ступеня очищення аспіраційних викидів ливарних та будівельних цехів в

пиловловлювачі з дисковим розпилювачем. У Зб. наукових праць з матеріалами II міжнародної конференції "Розвиток наук в умовах нової реальності: проблеми та перспективи", 3 травня 2024, Київ, 244–245. Київ: УКРЛОГОС Груп. DOI: 10.62731/mcnd-03.05.2024 (українською)

30. Коузов, П. А., Савіна, А. А. (1964). Вентиляторний пиловловлювач. ЛІОТ. (російською)

31. Зінич, П. Л., та ін. (2009). Дослідження мокрих скрубберів у промислових аспіраційних системах. *Журнал промислової вентиляції*, 18(2), 101–113. (українською)

32. Xie Zhuwei, Zhao Zhongtai, Li Dingfu, Li Fei, Zhang Chaojun, Huang Chen, Xiao Yimin (2023). Experimental study on the atomization characteristics and dust removal efficiency of a fan-shaped nozzle for purifying working environment. College of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing, 400045, China. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85163732366&doi=10.1016%2fj.scitotenv.2023.164994&partnerID=40&md5=19c2d63c35e073aee4edb3a3a6856f90>

33. MacIntyre, N. R., Branson, R. D. (2008). Mechanical ventilation. Elsevier Canada, 352. <http://doi.org/10.1016/j.vent.2008.02.009>. (in English)

34. Gairola, R., Rao, D. V. (2013). Design of industrial ventilation systems for dust control. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 10(1), 43–50. <http://doi.org/10.1080/15459624.2012.731131>. (in English)

35. Ляшеник А. В., Тисовський Л. О., Дорундяк Л. М., Дадак Ю. Р. Обґрунтування конструкції циклона для очищення повітря на підприємствах деревообробної галузі. Лісівництво і агролісомеліорація : зб. наук. праць. – Харків: Вид-во УкрНДІЛГА. – 2011. – Вип. 21-09. – С.

119-125. (українською)

36. N. Maksuita, Yu. Golik (2019). Comparative analysis of pollution of atmospheric air in Cities (an Example of Leipzig and Poltava). Proceedings of CEE 2019. Advances in Resource-saving Technologies and Materials in Civil and Environmental Engineering/-2019.- P.260-267. DOI:10.1007/978-3-030-27011-7_33 (in English)

References:

1. Organiscak J. A., Noll J., Yantek D., Kendall B. (2016). Examination of a newly developed mobile dry Scrubber (DS) for coal Mine dust control applications. NIOSH, Pittsburgh, PA, United States. [https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-](https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84988316971&partnerID=40&md5=a4abfbcccb23e38f600e3047cbda2c3c)

84988316971&partnerID=40&md5=a4abfbcccb23e38f600e3047cbda2c3c

2. Bahloul Ali, Djebara Abdelhakim, Saidi Mohamed N. and Songmene Victor (2015). Simulating grinding dust dispersion and assessment of the efficiency of local capture ventilation. Chemical and Biological Hazards Prevention, Institut Robert-Sauvé en Santé et Sécurité du Travail, Montréal, Canada. [https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-](https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84987971010&partnerID=40&md5=cbade28442174a38505b8bca34d09dec)

84987971010&partnerID=40&md5=cbade28442174a38505b8bca34d09dec

3. Jeon Tae-Yeong, Kim Jae-Yong (2015). Characterization of fine dust collection using a filter ventilation. Department of Environmental Engineering, Chungbuk National University, 362-763, Chungcheongbuk-do, South Korea. [https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-](https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84928411555&doi=10.14478%2face.2015.1022&partnerID=40&md5=de7670706aa4804b235c5e4134d93c76)

84928411555&doi=10.14478%2face.2015.1022&partnerID=40&md5=de76

70706aa4804b235c5e4134d93c76

4. Kateusz Przemysław (2015). Estimation of uncertainty of mean velocity of flue gas in a conduit as determined by the traverse method within the gravimetric measurement of particulate concentration. Silesian University of Technology, Department of Heating, Ventilation and Dust

Removal Technology, ul. Konarskiego 20, Gliwice, 44-100, Poland.
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84939185777&doi=10.1016%2fj.flowmeasinst.2015.07.014&partnerID=40&md5=c2a6079350c981ec02166b9d36d231b8>

5. Jiang Zhong-An, Zhang Yi-Kun, Wang Ming (2016). Study and practice on dust control technology in fully mechanized excavation face. School of Civil and Environmental Engineering, University of Science and Technology—Beijing, Beijing, China.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85016767139&partnerID=40&md5=94d605a202bc1365106dc68ef2d760a7>

6. Babaei Morteza, Bahrami Abdolrahman, Shahna Farshid Gorbani (2017). Control of fugitive dust emitted by combination of water spray and industrial ventilation as an efficient and economical solution at a mining company. Department of Occupational Health Engineering, Faculty of Public Health, Research Center for Health Science, Hamadan University of Medical Science, Hamadan, Iran.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85029471775&partnerID=40&md5=26a26b4248ff49d873557f226061865d>

7. Zhao Haiming, Xie Xin, Xia Yimin, Liao Xiaole (2017). Research on operation parameters of three-phase flow in wet dust collecting fan. School of Mechanical and Electrical Engineering, Central South University, Changsha, 410083, China.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85026837770&doi=10.11817%2fj.issn.1672-7207.2017.06.013&partnerID=40&md5=6c72ea27bb02307ad39dc991f0415ddd>

8. Arya Sampurna, Sottile Joseph, Novak Thomas (2018). Development of a flooded-bed scrubber for removing coal dust at a longwall mining section. Department of Mining Engineering, University of Kentucky,

Lexington, KY, United States.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0->

85052096035&doi=10.1016%2fj.ssci.2018.08.003&partnerID=40&md5=6424f4d4e952a9ab9992bab95eb568e5

9. Liu Yang, Xia Tianjie, Wang You, Chen Jinzhu, Li Xiaochuan (2020). Simulation and experimental investigation of dust-collecting performances of different dust exhaust hoods. School of Nuclear Science and Engineering, North China Electric Power University, Beijing, China.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0->

85094645662&doi=10.1080%2f10962247.2020.1813841&partnerID=40&md5=f9785e5b7aaa81a61eab4be4dcff19ed

10. Yin Wenjing, Zhou Gang, Liu Dong, Meng Qunzhi, Zhang Qian, Jiang Tao (2021). Numerical simulation and application of entrainment dust collector for fully mechanized mining support based on orthogonal test method. College of Aeronautical Engineering, Weifang Engineering Vocational College, Weifang, 262501, China.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0->

85098108778&doi=10.1016%2fj.powtec.2020.10.059&partnerID=40&md5=5e8fae1d9ee947a62f8fb27e402d405a

11. Fang Xueming, Jiang Bingyou, Yuan Liang, Liang Yuxiang, Ren Bo, Tao Wenhan, Li Xianbao (2022). Experimental Study on Atomization Characteristics of Gas–Liquid Two-Phase Flow Nozzle and Its Dust Removal Effect. Key Laboratory of Industrial Dust Control and Occupational Health, Ministry of Education, Anhui University of Science and Technology, Huainan, 232001, China.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0->

85122887236&doi=10.3390%2fma15020565&partnerID=40&md5=ee80ac22aab9575bc098764a573b93d4

12. Zhao Xinli, Jia Jifeng, Li Xiaochuan, Wang Li, Wang Yuyao, Hu

Haibin, Shen Zhiyuan, Jiang Yefeng (2022). Potential Use of Wet Scrubbers for the Removal of Tobacco Dust Particles in the Tobacco Industry. School of Chemical Engineering and Technology, China University of Mining and Technology, Xuzhou, 221116, China. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85125658358&doi=10.3390%2fatmos13030380&partnerID=40&md5=3140e02a823d6ad75e06200731c23b36>

13. Angelina Chugai, Yuliia Bazyka (2019). Analysis of technogenic load on the air basin of industrial and urban agglomerations in Ukraine. *Environmental Problems* Vol. 4, No. 3, 2019, pp.167-173 DOI: <https://doi.org/10.23939/ep2019.04.167> (in English)

14. Шелюх Ю. Є. (2016). Дослідження впливу гідравлічного опору на продуктивність роботи вихрових пиловловлювачів нового покоління. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*, 13, 137-143. (українською)

15. Тисовський Л. О., Дорундяк Л. М., Ляшеник А. В., Дадак Ю. Р. (2010). Побудова математичної моделі для задачі про рух повітря в циклоні. *Всеукраїнський науково-технічний журнал ПГіП*. – 2010. – Вип. 2(28). – С. 57-62.

16. Ткачук, А. Я., Любарець, П. А., Петриченко, М. І., Степчук, І. Д. (1983). Пиловловлювач. Патент № 1044317 СРСР. Б.І. 1983, № 36, с. 19. (російською)

17. Зіняк, В. В., Ткачук, А. Я. (2001). Технологія очищення пилу в мокрих скрубберах. *Технологічний розвиток вентиляційних систем*, 13, 145–151. (українською)

18. Чакчір, Я. А., Петров, М. І., Петриченко, М. І., Сенько, П. М., Любарець, О. П. (1988). Пиловловлювач для мокрого очищення вентиляційних викидів. Патент № 1389825 СРСР. Б.І. 1988, № 15, с. 41. (російською)

19. Гаджієв, Е. Н., Варламов, Є. М. (2017). Аналіз дисперсії пилу в аспіраційних системах при виробництві теплоізоляційних матеріалів. Український науково-дослідний інститут екологічних проблем, Харків, 192. (українською)

20. Yu Yanbin, Fang Lianxin, Zhou Bo, Cui Wenting, Yin Shi, Song Kezhi (2025). Ventilation parameters' impact on artificial tornado-based cylindrical vortex dust removal system performance. State Key Laboratory of Mining Disaster Prevention and Control Co-founded by Shandong Province and the Ministry of Science and Technology, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, 266590, China. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-86000782144&doi=10.1016%2fj.ap.2025.104852&partnerID=40&md5=1a82ea8fb0e8328c480682d15688ecda>

21. Ратушняк, Г. С., Лялюк, О. Г. (2009). Пристрої для очищення газових викидів. IV НВКП "Укрґеліотех", 180. (українською)

22. Спінов В. М., Афтанюк В. В. (2011). Експериментальне дослідження кінетики мокрого пиловловлювача. Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» № 2 (84), с. 32-46. (українською)

23. Любарець, О. П., Микитенко, М. Р. (2023). Аналіз факторів, що впливають на стан знепилення аспіраційних викидів. *Вентиляція*, Київський національний університет будівництва і архітектури, випуск 46, 89. (українською). Джерело: <http://vothp.knuba.edu.ua/article/download/298374/291122> (українською)

24. Афтанюк В. В., Кіріс О. В., Даниленко Д. В., Афтанюк А. В. (2022). Розробка інтегрованої конструкції скрубера для суднових енергетичних установок. Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. Вип. 45-Одеса: НУ «ОМА», 2022.-201 с. (українською)

25. Ilyushin Y., Talanov N. (2025). Development of Methods and Models for Assessing Technical Condition of Mines and Underground Structures. Economics Faculty, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, 199106, Russian Federation. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85216569413&doi=10.5829%2fije.2025.38.07a.16&partnerID=40&md5=8db44633d6c2ee52b2065dea32e96679>

26. Приємов, С. І. (1971). Дослідження роботи мокрого пиловловлювача з дисковим розпилювачем в очищенні вентиляційних викидів. Дисертація. Київський національний університет будівництва і архітектури. (українською)

27. Jin Zijing, Hu Shengyong, Zhu Xiaotong, Feng Guorui, Sun Jian (2022). Research on wet-type swirl dust collection technology and its application in underground excavation tunnels. College of Safety and Emergency Management Engineering, Taiyuan University of Technology, 79 Yingzexi Street, Shanxi Province, Taiyuan, 030024, China. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85140910943&doi=10.1016%2fj.apr.2022.103851&partnerID=40&md5=29d2819a67dcd44863de4d0a0ffb22d1>

28. Concha-Lozano Nicolas, Muller Yan, Favreau Philippe, Suarez Guillaume (2025). Determination of ultrafine particle number emission factors from building materials in standardized conditions. Unit of Forensic Chemistry and Toxicology, CURML, Lausanne and Geneva University Hospital, Rue du Bugnon 19, Lausanne, 1011, Switzerland. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85218931381&doi=10.1093%2fannweh%2fwxae083&partnerID=40&md5=94158e67fb2dda5711351b1c2141b88d>

29. Микитенко, М. Р., Любарець, О. П. (2024). Дослідження ступеня очищення аспіраційних викидів ливарних та будівельних цехів в

пиловловлювачі з дисковим розпилювачем. У Зб. наукових праць з матеріалами II міжнародної конференції "Розвиток наук в умовах нової реальності: проблеми та перспективи", 3 травня 2024, Київ, 244–245. Київ: УКРЛОГОС Груп. DOI: 10.62731/mcnd-03.05.2024 (українською)

30. Коузов, П. А., Савіна, А. А. (1964). Вентиляторний пиловловлювач. ЛІОТ. (російською)

31. Зінич, П. Л., та ін. (2009). Дослідження мокрих скрубберів у промислових аспіраційних системах. *Журнал промислової вентиляції*, 18(2), 101–113. (українською)

32. Xie Zhuwei, Zhao Zhongtai, Li Dingfu, Li Fei, Zhang Chaojun, Huang Chen, Xiao Yimin (2023). Experimental study on the atomization characteristics and dust removal efficiency of a fan-shaped nozzle for purifying working environment. College of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing, 400045, China. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85163732366&doi=10.1016%2fj.scitotenv.2023.164994&partnerID=40&md5=19c2d63c35e073aee4edb3a3a6856f90>

33. MacIntyre, N. R., Branson, R. D. (2008). Mechanical ventilation. Elsevier Canada, 352. <http://doi.org/10.1016/j.vent.2008.02.009>. (in English)

34. Gairola, R., Rao, D. V. (2013). Design of industrial ventilation systems for dust control. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 10(1), 43–50. <http://doi.org/10.1080/15459624.2012.731131>. (in English)

35. Ляшеник А. В., Тисовський Л. О., Дорундяк Л. М., Дадак Ю. Р. Обґрунтування конструкції циклона для очищення повітря на підприємствах деревообробної галузі. Лісівництво і агролісомеліорація: зб. наук. праць. – Харків : Вид-во УкрНДІЛГА. – 2011. – Вип. 21-09. – С.

119-125. (українською)

36. N. Maksuita, Yu. Golik (2019). Comparative analysis of pollution of atmospheric air in Cities (an Example of Leipzig and Poltava). Proceedings of CEE 2019. Advances in Resource-saving Technologies and Materials in Civil and Environmental Engineering/-2019.- P.260-267. DOI:10.1007/978-3-030-27011-7_33 (in English)

Citation: Oleksandr Liubarets, Maksym Mykytenko (2025). EVALUATION OF EFFICIENCY AND OPTIMISATION OF CYCLONE-TYPE DUST COLLECTORS WITH A CIRCULAR SPRAY OF REVERSIBLE SUSPENSION FOR GAS PURIFICATION UP TO 250 °C. New York. TK Meganom LLC. Innovative Solutions in Modern Science. 2(66). doi: 10.26886/2414-634X.3(67)2025.1

Copyright: Oleksandr Liubarets, Maksym Mykytenko ©. 2025. This is an openaccess article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) or licensor are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.