

УДК 622.741.3.022;622.7;620.133

доцент **Олександр Любарець**,

liubarets.op@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0003-1905-9283,

аспірант **Максим Микитенко**,

mykytenko_mr@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0003-2891-6136,

Київський національний університет будівництва і архітектури

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКЦІЇ ДИСКОВОГО РОЗПИЛЮВАЧА НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПИЛОВЛОВЛЕННЯ В УМОВАХ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ ПОТОКІВ

У статті представлено результати експериментального дослідження процесу очищення аспіраційних викидів підвищеної температури з використанням пиловловлювача циклонного типу, оснащеного дисковим водорозпилювачем. Основну увагу зосереджено на впливі конструктивних параметрів розпилювача, фізико-хімічних властивостей робочої рідини та режимів її подачі на геометрію факела розпилу, дисперсність крапель і ступінь уловлювання пилу. Встановлено, що розміри дисків, форма і кількість отворів, швидкість обертання, а також температура та вологість газового потоку істотно впливають на ефективність процесу очищення. Проведено вимірювання висоти та ширини факела, визначено залежності між відстанню від диска і висотою факела. Запропоновано емпіричні моделі для визначення середнього об'ємно-поверхневого діаметра крапель залежно від режимних параметрів. Досліджено вплив домішок у воді на якість розпилу та властивості аерозолі. Результати оптимізації режиму роботи пиловловлювача свідчать про можливість досягнення високої ефективності очищення (до 96–98%) при зниженні гідравлічного опору до 100 Па. Представлені результати можуть бути використані для вдосконалення промислових систем аспіраційного очищення в умовах високотемпературних виробництв.

Ключові слова: *дисковий розпилювач; аспіраційні викиди; пиловловлення; факел розпилу; дисперсність крапель; рециркуляція рідини; гідравлічний опір.*

Вступ. Однією з актуальних проблем промислової екології залишається ефективне очищення запиленого повітря, що утворюється під час функціонування технологічних установок. Особливо складним є очищення високотемпературних аспіраційних викидів, які містять дрібнодисперсний пил та часто потребують повторного використання води, що містить механічні домішки. В умовах зростаючих вимог до енергоефективності та екологічної

безпеки зростає потреба в удосконаленні апаратів мокрого очищення, здатних стабільно працювати у складних середовищах.

Серед найбільш перспективних технічних рішень виділяються дискові водорозпилювачі, які забезпечують рівномірне диспергування рідини у вигляді аерозольного факела. Вони дозволяють інтенсифікувати процеси масообміну між рідиною та запиленим потоком і мають потенціал для покращення ступеня очищення при зменшенні водоспоживання. Проте ефективність таких систем значною мірою залежить від геометрії розпилювача, швидкісного режиму обертання дисків, фізико-хімічних властивостей рідини та температурно-вологісних умов середовища.

Актуальність дослідження полягає у необхідності детального вивчення впливу зазначених параметрів на ефективність пиловловлення та у створенні математичних моделей, які дозволять оптимізувати роботу пиловловлювача в умовах реального виробництва. Дана робота спрямована на експериментальне обґрунтування цих взаємозв'язків та визначення раціональних параметрів процесу.

Актуальність дослідження. Сучасні умови експлуатації промислових підприємств вимагають не лише ефективного очищення повітря від пилу, а й дотримання принципів ресурсозбереження, зокрема повторного використання води та зниження енерговитрат. Особливої складності набуває очищення аспіраційних викидів із підвищеною температурою та високим вмістом твердих частинок, де традиційні мокрі пиловловлювачі виявляють обмежену ефективність.

Дискові розпилювачі, здатні формувати сталий факел водяного аерозолі необхідної дісперсності, який має підвищений потенціал для захоплення часток пилу. Проте впровадження таких систем у промислові умови потребує чіткого розуміння впливу конструктивних параметрів, гідродинамічних характеристик, фізико-хімічних властивостей зворотної рідини та теплових факторів на загальну ефективність очищення.

Дослідження, спрямовані на оптимізацію конструкції дискових розпилювачів і режимів їх роботи з урахуванням температури, вологості та домішок у воді, є актуальними з погляду підвищення екологічної безпеки та ефективності аспіраційних систем. Результати таких досліджень можуть стати основою для створення енергоефективних і технологічно адаптивних пиловловлювальних апаратів нового покоління.

Останні дослідження та публікації. У попередніх дослідженнях було проведено комплексну оцінку ефективності пиловловлювачів циклонного типу з дисковими розпилювачами, зокрема в умовах рециркуляції пило-водяної

суспензії. У публікації [1] було проаналізовано конструктивні відмінності різних типів мокрих пиловловлювачів, наведено порівняння ступеня очищення залежно від стану диспергованої фази та надано рекомендації щодо вибору апаратів для різних видів аерозольних забруднень. Особливу увагу приділено впливу фізико-хімічного складу пилу на вибір методу очищення.

У статті [2] розроблено математичну модель руху частинок у закрученому потоці в межах циклонного апарата, яка враховує як відцентрові, так і інерційні сили, а також взаємодію з краплями рідини. Представлена модель дозволила отримати аналітичні залежності для оцінки ефективності осадження частинок і використовувалась для верифікації експериментальних результатів.

У роботі [3] проведено комплексний аналіз конструктивних рішень і принципів дії різних типів апаратів для очищення газових викидів, зокрема мокрих скрубєрів, циклонів і електрофільтрів. Автори приділили особливу увагу вибору методів очищення залежно від дисперсного складу пилу, витрати газу та умов експлуатації. Описано вплив температури, вологості та аеродинамічних характеристик на ефективність уловлювання частинок різного розміру. Підкреслено важливість оптимального поєднання гідродинамічних параметрів і конструкції пиловловлювача для досягнення високих показників очищення за знижених витрат води та енергії.

Незважаючи на значний обсяг проведених досліджень, низка питань залишалася відкритою, зокрема вплив конструктивних параметрів дискового розпилювача на геометрію факела, стабільність краплевиділення при високій температурі та поведінка системи в умовах зміни вологості запиленого газу. Саме цим аспектам присвячене дане дослідження.

Формулювання цілей статті. Метою даної статті є дослідження впливу конструктивних параметрів дискового водорозпилювача, фізико-хімічних властивостей робочої рідини та параметрів запиленого газового потоку на ефективність очищення аспіраційних викидів підвищеної температури.

У межах поставленої мети передбачається встановити оптимальні геометричні та режимні умови формування водяного факела, що забезпечують максимальне уловлювання пилу при мінімальному гідравлічному опорі системи. Також досліджується доцільність використання зворотної води з механічними домішками, а також розробка емпіричних моделей для прогнозування ефективності пиловловлення залежно від умов експлуатації.

Конструкція та характеристики дискового розпилювача. Для дослідження процесу очищення аспіраційних викидів було використано спеціально спроектований експериментальний стенд, основним елементом якого є дисковий водорозпилювач з конусною насадкою. Ця конструкція

дозволяє створювати тонкодисперсний факел, забезпечуючи інтенсивну взаємодію рідини з частинками пилу в газовому потоці (рис. 1).

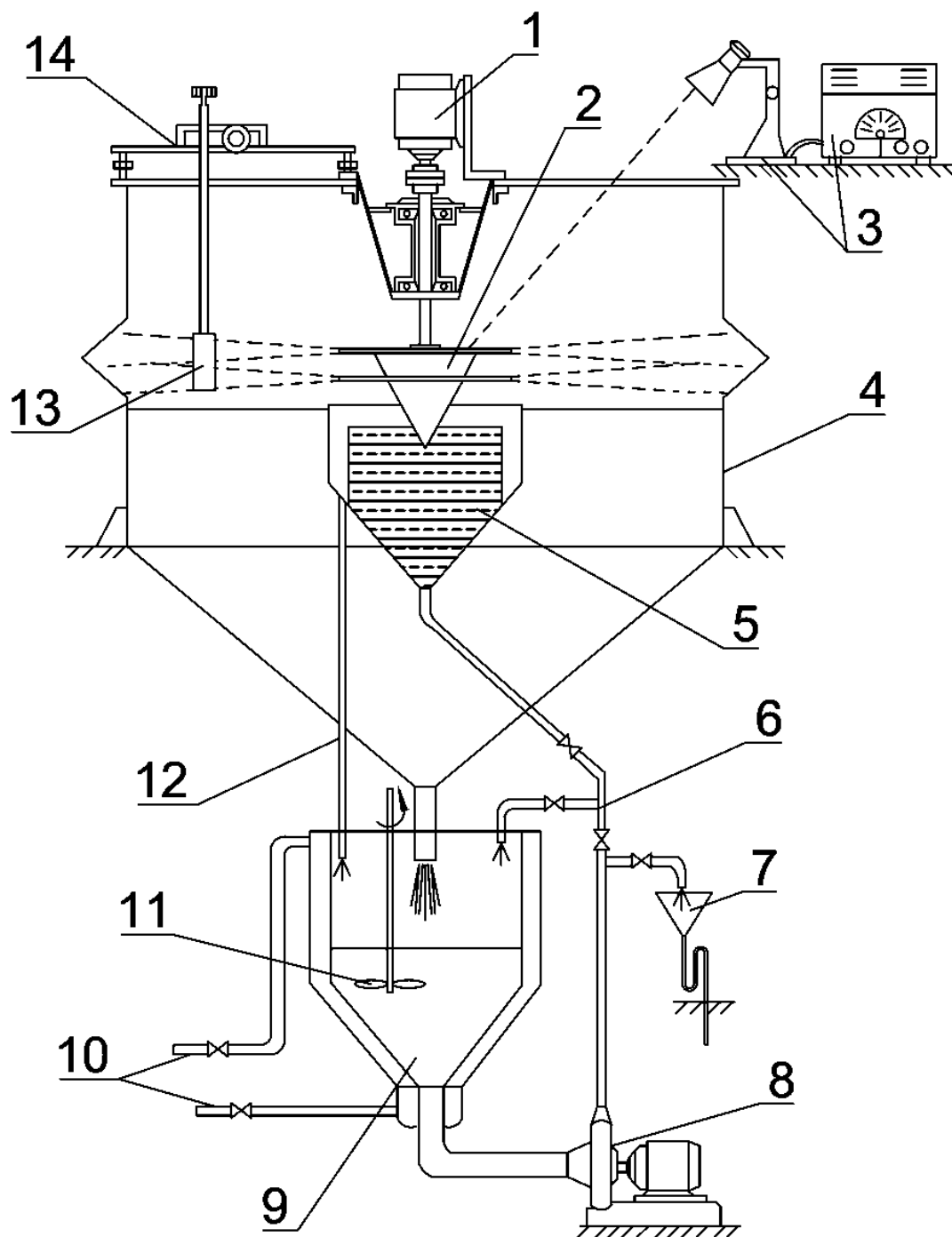


Рис. 1. Схема експериментального стенду по розпилю суспензії та води:

1 - електродвигун; 2 - дисковий розпилювач; 3 - стробоскопічний тахометр; 4 - циліндричний корпус з кільцевою камерою; 5 - чаша; 6 - трубопроводи; 7 - злив; 8 - насос; 9 - бак з водяною рубашкою; 10 - трубопроводи теплоносія; 11 - мішалка; 12 - циркуляційний трубопровід; 13 - пастка для крапель; 14 – координатник.

Дисковий розпилювач складався з декількох дисків різного діаметра (0,2; 0,3 та 0,4 м), що дозволило дослідити вплив геометрії на розподіл рідини. Вода подавалася на розпилювач у закритій циркуляційній системі з контролем температури, що забезпечувала сталі умови проведення експерименту.

У ході дослідження було встановлено, що рівномірний розподіл рідини по поверхні дисків залежить від форми та кількості отворів у конічній частині розпилювача [4]. При збільшенні кількості отворів зі збереженням периметра прохідного перерізу спостерігається покращення розподілу рідини по дисках (рис. 2). Оптимальна відстань між дисками становить 30 мм, що забезпечує рівномірне злиття плівки рідини та стабільне формування факела.

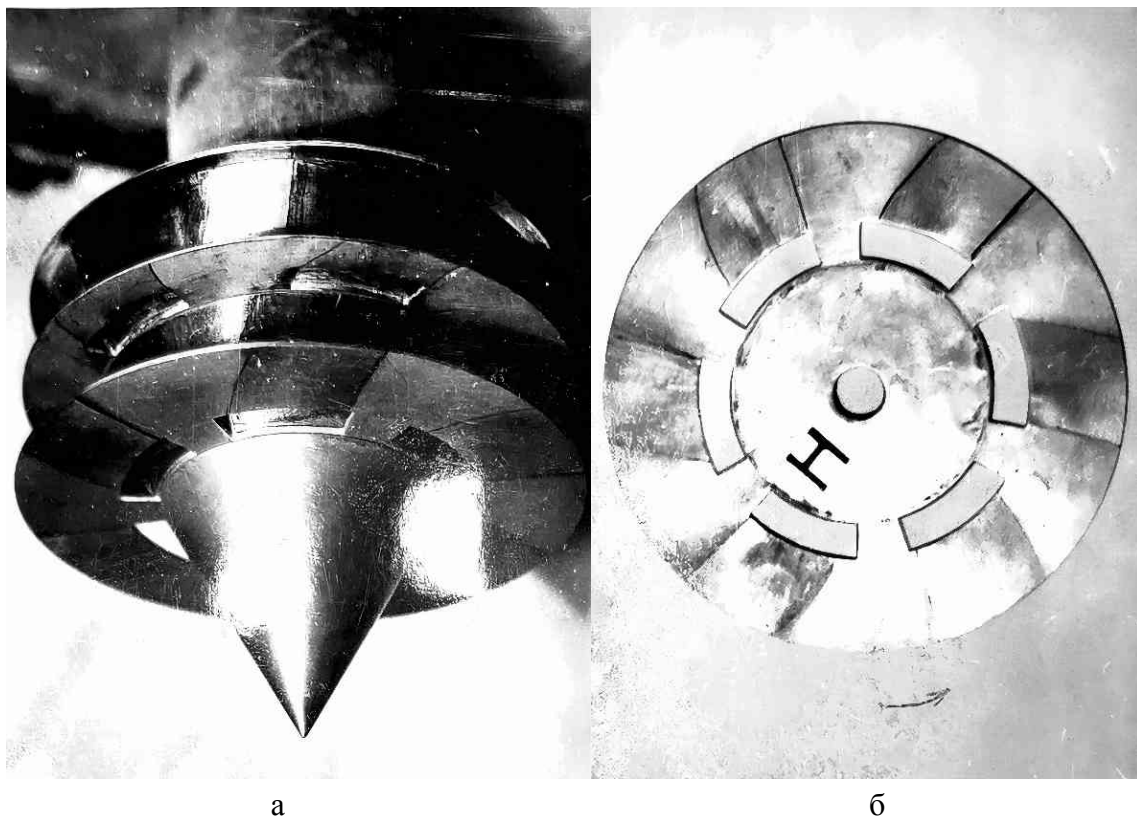


Рис. 2. Тридисковий водорозпилювач з конусною насадкою при куті розкриття конуса 60° , діаметрі дисків 0.3 м і обертанні за годинниковою стрілкою з кутовою швидкістю обертання $\omega=298 \text{ с}^{-1}$: а — загальний вид водорозпилювача; б — нижній диск водорозпилювача зі слідами руху водяної плівки по поверхні диску.

Згідно з результатами досліджень, найбільш ефективний розподіл досягається при співвідношенні периметрів отворів: $2/3$ довжини кола для нижнього диска, $1/2$ — для середнього. Для серійного виготовлення розпилювачів запропоновано конструкцію з 6 отворами в кожному диску, що дозволяє забезпечити повторюваність результатів та стабільну геометрію факела.

Геометричні характеристики факела розпилу та дисперсність крапель.

Формування стабільного факела розпилу є критично важливим для досягнення високої ефективності захоплення пилу в апаратах мокрого очищення. Дослідження проводились на лабораторному стенді з дисковим розпилювачем, оснащеним конусною насадкою. Для фіксації геометрії факела використовувався водопоглинаючий матеріал із нанесеною координатною сіткою, що дозволяло точно відстежувати контури крапельного факела за різних режимів роботи (рис. 3).

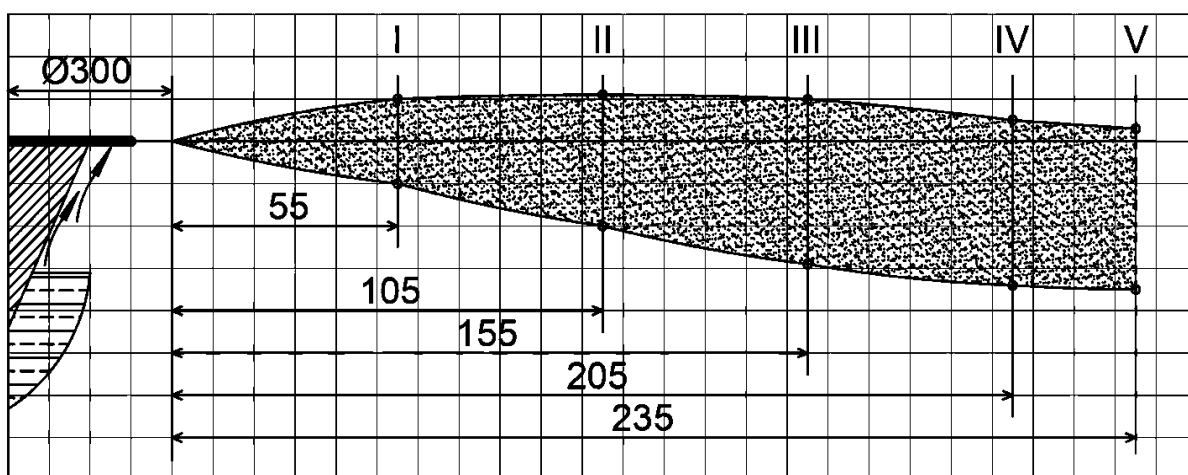


Рис. 3. Профіль факела розпилу води однодисковим розпилювачем з конусною насадкою за даними табл. 1.

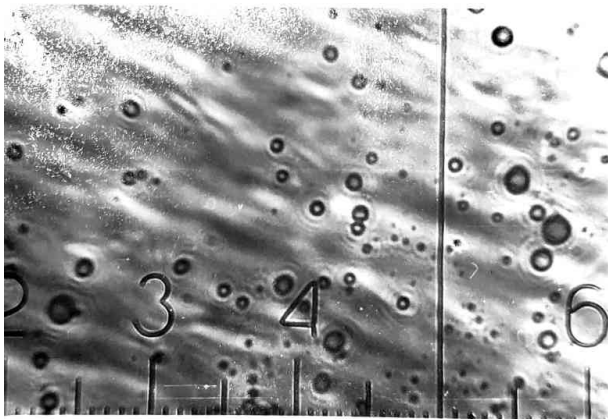
Вимірювання проводили в поперечних перерізах на відстані 0,055–0,235 м від краю диска, а висоту факела визначали за допомогою мікрометра. За результатами досліджень встановлено, що висота факела змінюється від 17 до 44 мм залежно від відстані від краю диска, що відображено в таблиці 1 [5]. При цьому кут розкриття факела зростає зі збільшенням кутової швидкості обертання розпилювача.

Результати свідчать, що форма факела та ступінь розпилу значною мірою залежать від конструктивних параметрів, зокрема діаметра диска, кількості отворів і швидкості обертання. Чим вище окружна швидкість диска, тим більш тонкодисперсний аерозоль формується, а факел розширюється, забезпечуючи кращу взаємодію крапель із частинками пилу.

Окрему увагу приділено впливу механічних домішок у рідині на якість розпилу. Для цього було застосовано метод уловлювання крапель в імерсійне середовище з подальшим мікрофотографуванням (рис. 4). Встановлено, що наявність твердих частинок у воді сприяє зменшенню середнього об'ємно-поверхневого діаметра крапель та утворенню більш дрібнодисперсного аерозолі.

Таблиця 1. Результати інструментальних вимірювань висоти факела розпилу дискового водорозпилювача з конусною насадкою (діаметр диска - 0,3 м, кутова швидкість обертання - $\omega=299$ рад/с, товщина диска - 0,0015 м, продуктивність водорозпилювача - 123,6 кг/год).

Найменування виміряної величини	Результати замірів				
	I	II	III	IV	V
Відстань від краю диска, м	0,055	0,105	0,155	0,205	0,235
Висота факелу розпилу над горизонтальною площиною диску, м	$9,0 \cdot 10^{-3}$	$12,5 \cdot 10^{-3}$	$11,0 \cdot 10^{-3}$	$5,5 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$
	$9,5 \cdot 10^{-3}$	$13,0 \cdot 10^{-3}$	$10,5 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$
	$8,5 \cdot 10^{-3}$	$12,5 \cdot 10^{-3}$	$11,0 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$
Загальна висота факелу розпилу, м	$17,0 \cdot 10^{-3}$	$39,0 \cdot 10^{-3}$	$40,5 \cdot 10^{-3}$	$41,0 \cdot 10^{-3}$	$39,0 \cdot 10^{-3}$
	$17,0 \cdot 10^{-3}$	$39,5 \cdot 10^{-3}$	$42,0 \cdot 10^{-3}$	$44,0 \cdot 10^{-3}$	$39,5 \cdot 10^{-3}$
	$17,0 \cdot 10^{-3}$	$39,0 \cdot 10^{-3}$	$41,0 \cdot 10^{-3}$	$42,5 \cdot 10^{-3}$	$38,0 \cdot 10^{-3}$



а



б

Рис. 4. Мікрофотографії розпилу водопровідної води дисковим розпилювачем
а — водопровідна вода при $\theta=18$ °С (витрата води $W=0.18$ м³/год; $\omega R=23.6$ м/с);
б — водопровідна вода при $\theta=45$ °С (витрата води $W=0.14$ м³/год; $\omega R=31.4$ м/с).

Математичне моделювання диспергування рідини та умови експерименту. У рамках дослідження сформовано математичні моделі, які описують залежність середнього об'ємно-поверхневого діаметра крапель у факелі розпилу від ключових параметрів процесу: витрати рідини, температури, окружної швидкості диска та концентрації механічних домішок. Емпіричні

рівняння були отримані шляхом обробки даних понад 80 експериментів у різних режимах роботи установки [2]. Для суспензії з механічними домішками модель має вигляд рівняння:

$$\frac{d_{3,2}}{D_g} = 4.81 \left(\frac{D_g^2 \omega \rho_c}{\mu_c} \right)^{-0.47} \cdot \left(\frac{W_c \rho_c}{D_g \mu_c} \right)^{0.33} \cdot \left(\frac{\sigma_c D_g \rho_c}{\mu_c^2} \right)^{-0.22} \cdot \left(\frac{C_T}{\rho_c} \right)^{0.05}, \quad (1)$$

Для водопровідної води рівняння має такий вигляд:

$$\frac{d_{3,2}}{D_g} = 0.38 \left(\frac{W_{жс}}{D_g^3 \omega} \right)^{0.12} \cdot \left(\frac{\sigma_{жс}}{D_g^3 \omega^2 \rho_{жс}} \right)^{0.26} \cdot \left(\frac{\mu_{жс}}{D_g^2 \omega \rho_{жс}} \right)^{0.15}, \quad (2)$$

Динамічну в'язкість суспензії визначали за формулою Ейнштейна:

$$\mu_c = \mu_{жс} (1 + 2.5 \varphi) \quad (3)$$

де φ - об'ємна концентрація твердої фази в суспензії.

Густину визначено за формулою Кривошеєва:

$$\rho_c = \frac{1}{\frac{\chi}{\rho_T} + \frac{1-\chi}{\rho_{жс}}} \quad (4)$$

де χ - масова частка твердої фази в суспензії; ρ_T , $\rho_{жс}$ — відповідно, густина твердої фази та рідини.

Поверхневий натяг вимірювали сталамометром. Такий підхід дозволив врахувати фізико-хімічні властивості рідини, які істотно впливають на дисперсність крапель [6].

Особливістю проведених експериментів є використання латинського куба як основи для плану дослідження, що дозволило суттєво зменшити кількість дослідів за збереження високої достовірності результатів. Концентрація твердих домішок змінювалась на дев'яти рівнях, тоді як інші змінні — на трьох.

Експериментальні дані підтвердили, що з підвищенням температури рідини або збільшенням вмісту частинок у зворотній воді діаметр крапель зменшується, підвищуючи загальну площу міжфазної поверхні факела. Така зміна є критичною для процесів тепло- і масообміну та, відповідно, для ефективного змочування частинок пилу у потоці.

Експериментальне дослідження ефективності пиловловлення. Для оцінки ефективності очищення запиленого повітря було змонтовано експериментальний стенд з пиловловлювачем циклонного типу, оснащеним дисковим водорозпилювачем (рис. 5). Система дозволяла створювати стабільний потік запиленого повітря із заданою температурою, вологістю та концентрацією пилу, забезпечуючи умови, максимально наближені до промислових.

Запилення потоку здійснювалося за допомогою ежекторного пилоутворювача, до якого стиснене повітря подавалося з компресора через дросельну шайбу. Для контролю параметрів потоку використовували мікроманометри, термопари, реометри, психрометри та інші прилади [7]. Температура води й повітря підтримувалась автоматичною системою регулювання, що дозволяло досліджувати тепломасообмінні процеси у стабільних умовах.

Методика визначення ефективності пиловловлення базувалася на порівнянні масової концентрації пилу на вході та виході з апарата. Початкова концентрація визначалася шляхом дозування маси пилу у вхідний потік та обліку витрати повітря, тоді як кінцева – шляхом відбору проб і зважування фільтрів після проходження повітря через пилозабірну трубку з електронагрівом (рис. 6, рис. 7).

Крім загального ступеня очищення, досліджувався також пофракційний ступінь пиловловлення, що визначався за допомогою мікроскопії осаджених частинок на фільтрах. Аналіз частинок дозволяв встановити, які фракції пилу вловлюються найкраще, і як це пов'язано з дисперсністю факела та характеристиками крапель.

Оптимізація режиму роботи пиловловлювача. З метою підвищення ефективності очищення газоподібних викидів і зменшення гідравлічного опору установки проведено серію експериментів для визначення оптимальних режимних параметрів роботи пиловловлювача з дисковим розпилювачем. Пошук екстремуму здійснювався за допомогою активного планування експерименту з побудовою моделі другого порядку [8].

Оптимізація передбачала одночасне мінімізацію кінцевої запиленості повітря після очищення та зниження гідравлічного опору апарата. У дослідженнях використовувалися такі керовані фактори: температура запиленого потоку (X_1), дисперсність пилу (X_2), діаметр дисків (X_3), кількість дисків (X_4), швидкість газу на вході (X_5), температура розпилюваної води (X_6). Початкова запиленість (X_7) вважалася некерованим параметром.

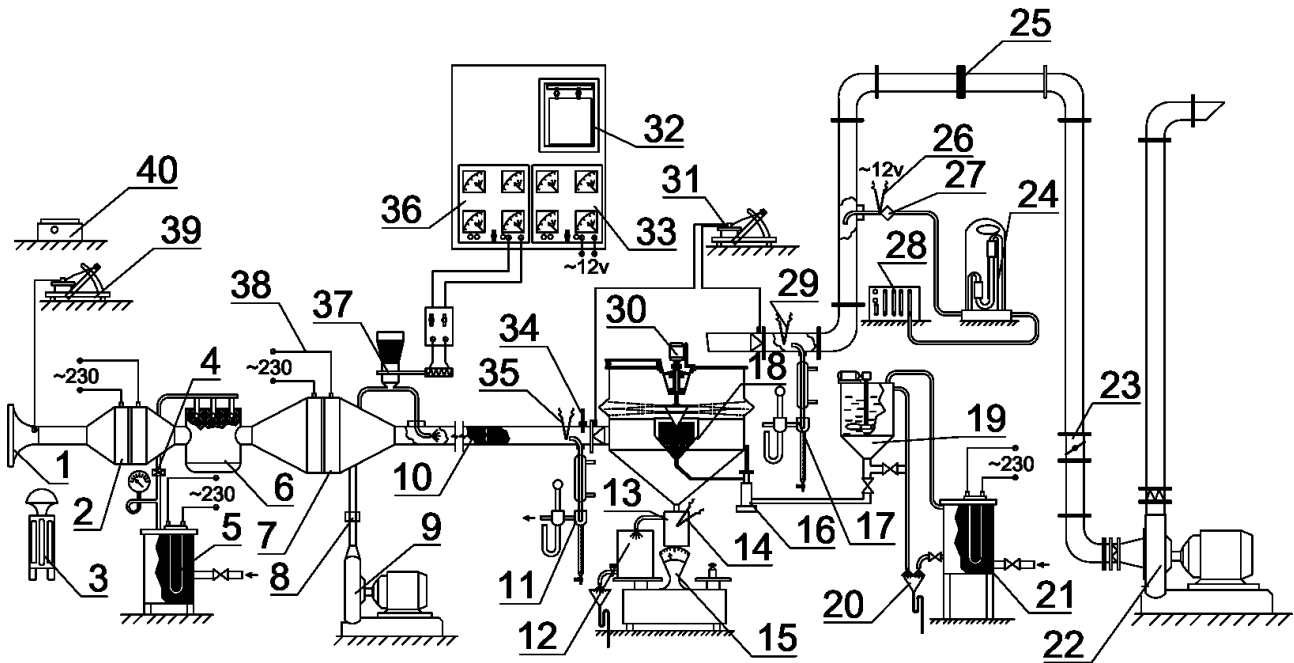


Рис. 5. Схема експериментального стенду

1 – вимірювальний колектор; 2 – електропідігрівач (електрокалорифер); 3 – аспіраційний психрометр; 4 – вимірювальна діафрагма пари; 5 – електрокотел для генерації пари; 6 – змішувальна камера; 7 – додатковий електропідігрівач; 8 – дросельна шайба; 9 – компресор; 10 – стабілізуючі сітки; 11 – пристрій для визначення вологості (вхідний); 12 – мірна посудина; 13 – трубопровід зливу суспензії; 14 – термопара (хромель-краплинна); 15 – технічні терези; 16 – клапан подавання суспензії; 17 – пристрій для визначення вологості (вихідний); 18 – термопара вбудована в апарат; 19 – бак з мішалкою для приготування суспензії; 20 – викид в каналізацію; 21 – електрокотел для нагріву води; 22 – відцентровий вентилятор; 23 – дросель клапан; 24 – реометр Т-80; 25 – вимірювальна діафрагма (на виході); 26 – термопара; 27 – камера стабілізації потоку; 28 – ротаційна установка ПРУ-4; 29 – термопара; 30 – пиловловлювач циклонного типу з дисковим розпилювачем; 31 – мікроманометр ММН; 32 – самописний потенціометр ЕПП-09М; 33 – шкала з вольтами; 34 – технічний отвір для взяття проб; 35 – термопара; 36 – шкала для контролю подачі пилу; 37 – пилоутворювач ежекторного типу; 38 – регулятор температури (потужності калорифера); 39 – мікроманометр ММН; 40 – барометр.

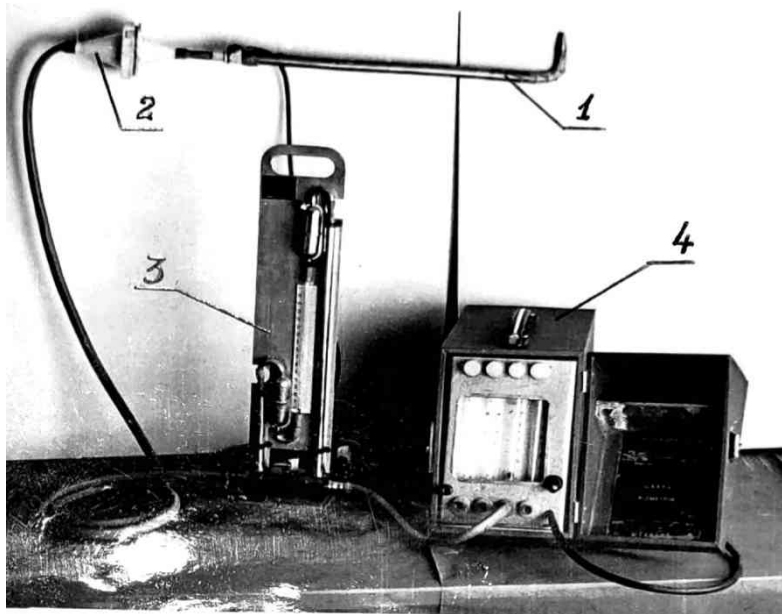


Рис. 6. Установка для відбору пилових проб
1 — пилозабірна трубка з електрообігрівом;
2 — патрон для фільтрів АФА-В-18;
3 — реометр;
4 — переносна ротаційна установка типу ПРУ-4.

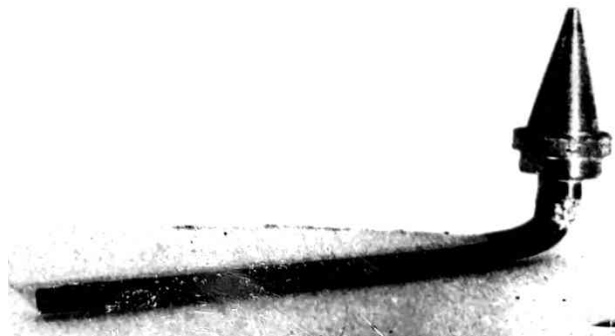


Рис. 7. Пилозабірна трубка з внутрішньою фільтрацією.

Застосовано план Хартлі, що дозволив суттєво зменшити кількість експериментів (до 29 дослідів) без втрати статистичної значущості результатів [9]. Математичні моделі побудовані у вигляді поліномів другого порядку для двох вихідних параметрів: кінцевої концентрації пилу (y_1) та гідравлічного опору (y_2), набувають вигляду:

а) для кінцевої запиленості

$$y_1 = -216.5 - 0.64 \cdot x_1 - 0.56 \cdot x_2 + 4.93 \cdot x_3 + 19.05 \cdot x_4 - 0.67 \cdot x_5 - 3.35 \cdot x_6 + 0.002 \cdot x_{12} - \\ - 0.17 \cdot x_{22} - 0.02 \cdot x_{32} - 3.97 \cdot x_{42} + 0.01 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0.03 \cdot x_1 \cdot x_4 + 0.009 \cdot x_1 \cdot x_5 + 0.01 \cdot x_1 \cdot x_6 + \\ + 0.04 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0.26 \cdot x_2 \cdot x_4 - 0.15 \cdot x_2 \cdot x_5 + 0.03 \cdot x_2 \cdot x_6 - 0.24 \cdot x_3 \cdot x_4 + 0.02 \cdot x_3 \cdot x_6 + \\ + 1.96 \cdot x_4 \cdot x_5 - 0.06 \cdot x_5 \cdot x_6; \quad (5)$$

б) для гідравлічного опору

$$y_2 = 514.66 + 0.24 \cdot x_1 + 2.62 \cdot x_2 - 4.84 \cdot x_3 - 17.23 \cdot x_4 - 8.90 \cdot x_5 - 0.18 \cdot x_6 - 0.09 \cdot x_2 + \\ + 0.01 \cdot x_{32} + 0.11 \cdot x_{52} - 0.11 \cdot x_{52} - 0.01 \cdot x_{62} - 0.02 \cdot x_1 \cdot x_5 - 0.13 \cdot x_2 \cdot x_4 + 0.03 \cdot x_2 \cdot x_5 + \\ + 0.05 \cdot x_3 \cdot x_5 + 0.003 \cdot x_3 \cdot x_6 + 0.88 \cdot x_4 \cdot x_6 - 0.01 \cdot x_1 \cdot x_4; \quad (6)$$

Значущість моделей підтверджено критерієм Фішера ($F_{y1}=16.8$, $F_{y2}=262.0$), що свідчить про адекватність опису процесу в межах варіації параметрів. Моделі продемонстрували нелінійний характер залежностей і наявність взаємодій між факторами, що підтверджує складність фізико-хімічного процесу очищення.

Проведено аналіз регресійних коефіцієнтів, який показав, що найбільший вплив на ефективність має діаметр дисків та температура запиленого газу. В рамках розв'язання компромісної задачі знайдено оптимальні значення параметрів, що забезпечують кінцеву запиленість ≤ 60 мг/м³ при $Z_H = 1000$ мг/м³ та мінімальний гідравлічний опір у межах 98–108 Па.

Вплив вологості запиленого потоку на ефективність пиловловлення. Особливу увагу в ході експериментальних досліджень приділено аналізу впливу вологості запиленого газового потоку на загальну ефективність очищення. Відомо, що конденсація водяної пари на поверхні частинок пилу сприяє їх зростанню в масі та розмірах, що покращує умови осадження у крапельному середовищі [10].

Досліди проводились на стенді з регульованим зволоженням повітря шляхом введення водяної пари в камеру змішування (рис. 1) [11]. Вологовміст змінювався в межах 10–60 г/кг сухого повітря, температура повітря – від 92 до 140 °С. У якості модельних пилів використовували кварцовий пил із поганою змочуваністю ($b_{50} = 10$ і 17 мкм) та добре змочуваний доломітовий пил ($b_{50} = 20$ мкм).

Отримані результати свідчать, що зі зростанням вмісту водяної пари у газі ефективність очищення істотно підвищується. Графіки залежності ступеня очищення від вологовмісту повітря (рис. 8) демонструють нелінійний характер покращення ефективності, особливо для частинок дрібного діаметра [12].

Було встановлено, що конденсація пари на поверхні крапель і пилових частинок призводить до збільшення маси агрегатів, що покращує їх захоплення у факелі розпилу. Такий механізм особливо ефективний при очищенні гарячих викидів, коли вологість і температура газу досягають критичних значень для переходу вологи в рідку фазу [13].

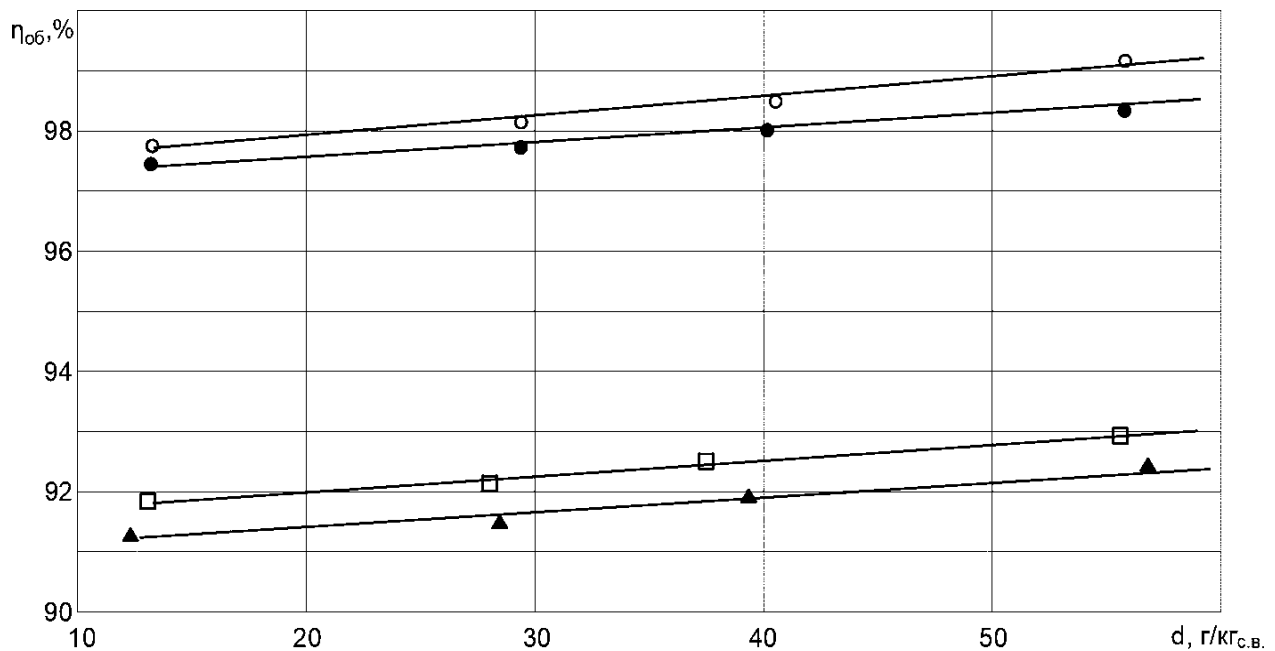


Рис. 8. Залежність ефективності пилоловлення від вологовмісту в запиленому потоці:

- - доломіт з $b_{50}=20$ мкм, $t_b=92$ °C, $Z_{поч}=1950$ мг/нм³;
- - доломіт з $b_{50}=20$ мкм, $t_b=140$ °C, $Z_{поч}=2020$ мг/нм³;
- - кварцевий пил з $b_{50}=17$ мкм, $t_b=93$ °C, $Z_{поч}=1230$ мг/нм³;
- - кварцевий пил з $b_{50}=17$ мкм, $t_b=130$ °C, $Z_{поч}=1280$ мг/нм³.

Таким чином, контроль вологості запиленого повітря є важливим регулюючим фактором у роботі пилоловлювачів мокрого типу, а його оптимізація може забезпечити додаткове підвищення ефективності без суттєвого ускладнення конструкції апарата.

Висновки. Результати проведених досліджень підтвердили, що конструктивні параметри дискового водорозпилювача, зокрема діаметр дисків, кількість і розміщення отворів, а також швидкість їх обертання мають визначальний вплив на геометрію факела розпилу та дисперсність крапель, що формуються. Оптимальні значення цих параметрів забезпечують формування рівномірного тонкодисперсного факела, що підвищує ефективність захоплення частинок пилу з повітряного потоку.

Встановлено, що застосування води з твердими домішками (зворотної води) може сприяти зменшенню середнього діаметра крапель і підвищенню ефективності пилоловлення, за рахунок збільшення загальної площі міжфазного контакту. Така взаємодія має практичну цінність з точки зору повторного використання води у замкнених циклах очищення.

Математичні моделі, отримані в ході дослідження, дають змогу оцінювати середній розмір крапель і ступінь очищення в залежності від експлуатаційних параметрів, що дозволяє їх використовувати для проєктування та оптимізації

роботи промислових пиловловлювачів.

Оптимізація режиму роботи апарата за допомогою методу активного експерименту дозволила визначити умови, за яких досягається високий ступінь очищення (до 96–98%) при низькому гідравлічному опорі (близько 100 Па), що свідчить про потенціал ефективного промислового використання таких систем у складних теплотехнологічних умовах.

Перспективи подальших досліджень. Подальші дослідження доцільно зосередити на масштабуванні результатів для промислових умов та вивченні довготривалої стабільності роботи пиловловлювачів з дисковими розпилювачами при використанні зворотної води зі змінним вмістом домішок. Перспективним є розширення експериментальної бази для різних типів пилу, зокрема токсичних та волокнистих частинок, що потребують особливих умов зволоження та осадження.

Також актуальним є дослідження взаємодії диспергованої рідини з турбулентним потоком у динамічних апаратах складної геометрії [14]. Впровадження інтелектуальних систем керування параметрами розпилення в режимі реального часу відкриває можливості для підвищення надійності та енергоефективності очищення.

Окремим напрямом є інтеграція отриманих моделей у цифрові платформи для проектування аспіраційних систем, що дозволить інженерам оперативно підбирати конфігурації обладнання залежно від технологічних вимог та умов виробництва.

References

1. Liubarets, O. P., Mykytenko, M. R. “Analiz faktoriv, shcho vplyvaiut na stan znepylennia aspiratsiinykh vykydiv”. Ventyliatsiia, osvittlennia ta teplofazopostachannia: Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk, Iss. 46, 2023, pp 89-108. (in Ukrainian)
2. Mykytenko M. R. “Matematychnе modeliuвання ta analiz efektyvnosti rukhu chastynok u tsyklonnykh rozpyliuvalnykh aparatakh”. Prostorovy rozvytok, Iss. 11, 2025, pp. 456-463. (in Ukrainian)
3. Ratushniak H.S., Lialiuk O.H. Zasoby ochyshchennia hazovykh vykydiv. IVNVKP «Ukrheliotekh», 2009. (in Ukrainian)
4. Zynych P. L. Ventyliatsiia hromadskykh budivel, 2002. (in Ukrainian)
5. Hadzhyiev E.N., Varlamov Ye.M. Dyspersiinyi analiz pyly v systemakh aspiratsii pid chas vyrobnytstva teploizoliatsiinykh materialiv iz zastosuvanniam udoskonalenoї eksperymentalnoi ustanovky, Ukrainskyi naukovo-doslidnyi instytut

ekologichnykh problem, Kharkiv, 2017. (in Ukrainian)

6. Sager T.M. et al. Improved method to disperse nanoparticles for in vitro and in vivo investigation of toxicity. *Nanotoxicology*. 2007. V. 1. №. 2. P. 118–129.

7. Fang Xueming, Jiang Bingyou, Yuan Liang, Liang Yuxiang, Ren Bo, Tao Wenhan, Li Xianbao. “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, 2022.

8. Sheliukh Yu. Ye. “Doslidzhennia vplyvu hidravlichnoho oporu na produktyv-nist roboty vykhrovykh pylovlovliuvachiv novoho pokolinnia”. *Visnyk Lvivskoho derzhavnoho universytetu bezpeky zhyttiediialnosti*, Iss. 13, pp. 137-143, 2016. (in Ukrainian)

9. Tysovskiy L. O., Dorundiak L. M., Liashenyk A. V., Dadak Yu. R. “Pobudova matematychnoi modeli dlia zadachi pro rukh povitria v tsykloni”. *Vseukrainskyi naukovo-tekhnichnyi zhurnal PHiP*, 2010, Iss. 2 (28), pp. 57-62.

10. Ziniak, V. V., Tkachuk, A. Ya. “Tekhnolohiia ochyshchennia pylu v mokrykh skrubbe-rakh”. *Tekhnolohichni rozvytok ventylyatsiinykh system*, Iss. 13, pp. 145–151, 2001. (in Ukrainian)

11. Spinov V. M., Aftaniuk V. V. “Eksperymentalne doslidzhennia kinetyky mokroho pylovlovliuvacha. Enerhozberezhennia. Enerhetyka”. *Enerhoaudyt, Natsionalnyi tekhnichniy universytet «Kharkivskyi politekhnichniy instytut» № 2 (84)*, pp. 32-46, 2011. (in Ukrainian)

12. Aftaniuk V. V., Kiris O. V., Danylenko D. V., Aftaniuk A. V. “Rozrobka intehrovanoi konstruktsii skrubera dlia sudnovykh enerhetychnykh ustanovok”. *Sud-novi enerhetychni ustanovky: naukovo-tekhnichnyi zbirnyk*. Iss. 45, Odesa: NU «OMA», 2022, 201 p. (in Ukrainian)

13. Liashenyk A. V., Tysovskiy L. O., Dorundiak L. M., Dadak Yu. R. “Obgruntuvannia konstruktsii tsyklona dlia ochyshchennia povitria na pidpriemstvakh derevoobrobnoi haluzi”. *Lisivnytstvo i ahrolisomelioratsiia: zb. nauk. prats. Kharkiv: Vyd-vo Uk-rNDILHA*, Iss. 21-09. pp. 119-125, 2011. (in Ukrainian)

14. N. Maksuita, Yu. Golik. “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.

UDC 622.741.3.022;622.7;620.133

PhD, Assoc. Prof. **Oleksandr Liubarets**,

liubarets.op@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0003-1905-9283,

Master **Maksym Mykytenko**,

mykytenko_mr@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0003-2891-6136,

Kyiv National University of Construction and Architecture

STUDY OF THE INFLUENCE OF THE DESIGN OF THE DISC SPRAYER ON THE EFFICIENCY OF DUST COLLECTION IN HIGH- TEMPERATURE FLOWS

Abstract. *This article presents the results of experimental research on the purification of high-temperature aspiration emissions using a cyclone-type dust collector equipped with a disk liquid atomizer. The focus is placed on studying the influence of structural parameters of the atomizer, the physicochemical properties of the working liquid, and flow conditions on the geometric characteristics of the spray plume, droplet dispersion, and dust removal efficiency. The formation of a stable and uniform spray cone is a key factor in enhancing gas-liquid interaction and increasing the capture probability of fine and coarse dust particles.*

Measurements were carried out on a laboratory setup using a coordinate grid and absorbent surface to visualize droplet trajectories and spray shapes under various operating modes. The analysis included determining the plume height and cross-sectional expansion at different distances from the disk edge. The influence of variables such as disk diameter, number and shape of nozzle holes, rotational speed, gas temperature, humidity, and the presence of solid impurities in the recirculated liquid was evaluated.

The study revealed that using contaminated water containing solid particles (e.g., quartz) significantly enhances the fineness of the atomized spray due to the reduction in droplet size, resulting in greater interfacial surface area. Mathematical models were developed to describe the relationship between operational parameters and the efficiency of the dust collection process. Optimization experiments demonstrated that a capture efficiency of up to 96–98% can be achieved while maintaining hydraulic resistance below 100 Pa, indicating the potential for efficient application of such systems in industrial high-temperature environments. The findings contribute to the development of resource-efficient, adaptable wet cleaning technologies for air pollution control in modern manufacturing facilities.

Keywords: disk sprayer; aspiration emissions; dust collection; spray plume; droplet dispersion; liquid recirculation; hydraulic resistance