

*Гаджисев Е.Н.**НДУ «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»
(вул. Бакуліна 6, Харків, 61000, Україна; e-mail: edwardsportik@gmail.com)*

ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ШЛЯХОМ ЗНИЖЕННЯ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН З ВИКОРИСТАННЯМ ДИСПЕРСІЙНОГО АНАЛІЗУ ПИЛУ

У статті описаний перспективний метод зниження викидів пилу в атмосферу та розробці пиловловлювачів знепилюючих систем аспірації в виробництві будівельних матеріалів. На основі результатів дисперсійного аналізу пилу мінеральної вати, запропоновано узагальнений підхід до визначення ефективного розміру часток пилу. Запропоновано і апробовано на практиці підхід до визначення функціональної залежності інтегрального розподілу часток пилу по еквівалентному розміру (ефективному розміру). Описано практичний спосіб визначення критичного (мінімального) еквівалентного розміру часток пилу, які потенційно вловлюються пиловловлювачами. Обґрунтовано принципи розробки нових конструкцій високоефективних пиловловлювачів і збільшення ступеня сепарації з використанням результатів дисперсійного аналізу вловлюючого пилу.

Ключові слова: Мінеральна вата, пил, пиловловлювач, сепарація, дисперсійний аналіз, гідравлічний розмір, еквівалентний діаметр, аспірація, обезпилювання, викиди забруднюючих речовин.

Вступ. Загальновідомо, що виробництво теплоізоляційних матеріалів, в тому числі плит мінеральної вати, супроводжується значними викидами пилу, а також газоподібних речовин в атмосферне повітря. Питаннями скорочення пилових викидів присвячувалися дослідження багатьох авторів, в тому числі роботи [1, 2], проте, у зв'язку зі зростанням обсягів виробництва, появою нових матеріалів і т.д., проблема підвищення екологічної безпеки підприємств будівельної індустрії залишається актуальною. Розглянемо з цієї точки зору виробництво мінераловатних плит.

Процес виробництва мінеральної вати супроводжується виділенням частинок скловолокна, кварцової і силікатної пилу, таких шкідливих газів, як фенол, формальдегід, оксид вуглецю, діоксид азоту, діоксид сірки [1, 2].

Джерелами пиловиділення на виробництвах мінеральної вати є ділянки технологічної лінії виробництва мінераловатної волокна, ділянки формування плит мінеральної вати, ділянки виробництва вантажно - розвантажувальних робіт і транспортування готової продукції. Газоподібні виділення у вигляді пари фенолу, аміаку, формальдегіду спостерігаються у

камери волокноосадження і в полімеризаційній камері, а також на ділянках технологічної лінії між ними [1, 2].

Метою роботи є визначення геометричних параметрів і характеристик частинок пилу, яке посприяє підвищенню ефективності систем знепилювання викидів систем аспірації і технологічної вентиляції виробництва теплоізоляційних матеріалів.

Результати дослідження. В даний час підвищуються вимоги до екологічної безпеки, в тому числі, до скорочення негативного техногенного впливу на атмосферне повітря підприємствами будіндустрії і промисловості. Зниження викидів систем знепилювання є актуальним завданням, вирішення якої пов'язане збільшенням ступеня сепарації пиловловлюючими пристроями.

З метою виявлення небезпечних джерел забруднення на промислових підприємствах, які є причиною погіршення якісного стану навколишнього природного середовища необхідним етапом управління ризиком є аналіз сучасного рівня технології та природоохоронних заходів. Виробництво мінеральної вати включає в себе ряд технологічних стадій, які супроводжуються

викидами забруднюючих речовин в атмосферне повітря. Сюди слід віднести операції підготовки сировинних матеріалів, складання шихтової суміші, плавлення вихідних компонентів, переробку розплаву в волокно, осадження мінеральної вати і формування її шару, теплову обробку мінерального килима, отримання готових виробів.

Можна виділити основні джерела забруднення атмосферного повітря підприємством виробництва мінеральної вати: - вивантаження з вагонів сировини (пил неорганічний до 70% SiO₂); - перевантаження і транспортування на конвеєрі (пил корольку, базальту, доломіту, коксу, пил неорганічний до 70% SiO₂); - коксова вагранка (пил неорганічний до 70% SiO₂, вуглецю оксид CO, азоту двоокис NO₂, сірки окис SO₂); - відкрите місце розливу (виділення окису вуглецю CO в приміщення); - камера волокноосадження (фенол, формальдегід, аміак); - виділення забруднюючих речовин в робоче приміщення при відкритому транспортуванні матеріалу від камери волокноосадження до входу в камеру полімеризації (фенол, формальдегід, аміак); - камера полімеризації і термозбіжна камера (фенол, формальдегід, аміак, пил мінеральної вати); - розпилювання виробів (пил мінеральної вати); - ємності для приготування і переливу сполучних матеріалів (фенол, формальдегід); - вивантаження шлаку з вагранки (пил неорганічний до 70% SiO₂); - пересипання, завантаження вихідного матеріалу в бункери в шихтовому відділенні з вбудованою теплою стоянкою; - злив смоли з автоцистерн на майданчику для зливу смоли. При роботі вагранки в атмосферу після очищення надходять оксид вуглецю, сірчистий ангідрид, діоксид азоту, оксид азоту, сажа, аміак, аміни аліфатичні (C10 - C16), пил неорганічний (до 70% SiO₂). У пічному відділенні найбільші концентрації пилу (до 10 ÷ 15 мг/м³) виявлені при завантаженні сировини в вагранку, в галереї і у елеваторів, дещо менша запиленість (40 ÷ 50 мг/м³) близько дозаторів. При плавлі сировини (базальт, доломіт) з використанням коксу утворюється шлак. Спорожнення вагранки відбувається кожні

24 години. Шлак вивантажується на бетонану підлогу, посипану піском, охолоджується, після чого навантажувачем доставляється на установку по брикетуванню. Після брикетування шлак повертається у виробничий процес. У момент вивантаження шлаку відбувається викид пилу неорганічного (до 120 мг/м³). Центрифуга, розташована під точкою виходу розплаву, перетворює розплавлений матеріал у тонке волокно. У волокно, віддуване від центрифуги потоком повітря витяжної системи камери волокноосадження, вносять сполучні речовини, потім воно осідає на стрічковий транспортер шарами, до досягнення кінцевого шару мінеральної вати необхідної ваги. Коксова вагранка і камера волокноосадження є джерелами викиду в атмосферу забруднюючих речовин.[3]

Визначення розмірів частинок пилу, функціональної залежності розподілу діаметрів (розмірів) частинок знаходить все більше застосування в різних теоретичних дослідженнях і практичних розробках високоефективних пиловловлювачів систем знепилювання. Вирішенню даної актуальної задачі присвячено значну кількість праць, наприклад, [4-6]. Опис методик проведення дисперсійного аналізу пилу також широко представлені в літературі [4, 7].

Необхідність точного визначення геометричних параметрів: еквівалентних розмірів, гідравлічної крупності, - є важливою технічною задачею, рішення якої в більшості випадків дозволяє отримати шуканий результат. Одним з основних геометричних параметрів є ефективний діаметр, еквівалентний розмір d_{pe} , або гідравлічна крупність частинок пилу [8, 9]. Дані параметри в значній мірі впливають на швидкість витання часток пилу в газі u_p , і є базовими для чисельного розрахунку руху пилогазового потоку в пилоуловлювачах, так званої CFD - гідродинаміки, наприклад, в циклонах і інерційних пиловловлювачів різних модифікацій.

Іншим перспективним напрямком є вдосконалення та розробка нових конструкцій відцентрово-інерційних пило-

вловлювачів. У роботах [9, 10] були присвячені дослідженню пиловловлювання і розробці нових пиловловлювачів інерційного і циклонного типів на основі використання результатів проведеного дисперсійного аналізу пилу. У статті [10] представлені системи пиловловлювання на основі апаратів ВЗП з використанням результатів проведеного дисперсійного аналізу пилу з високими значеннями її змісту в подається на очистку пилогазового потоці, які рекомендовано використовувати на підприємствах з виробництва теплоізоляційних матеріалів. При цьому дрібні частинки пилу твердих речовин, особливо фракцій $PM_{2,5}$ і PM_{10} , мають значний вплив на розсіювання, стратифікації в атмосфері викидів підприємств виробництва теплоізоляційних матеріалів. У роботах [17] наголошено на важливості врахування фракцій $PM_{2,5}$ і PM_{10} . У статті [17] вказано на актуальність та шляхи скорочення викидів дисперсних частинок в атмосферу з використанням наведених результатів чисельного моделювання пиловловлювання в технологічних системах. Вказано на необхідність врахування даних фракцій пилу моделюванні розсіювання в атмосфері.

Слід також відзначити інтерес до аналізу змісту фракцій дрібнодисперсних частинок пилу, наприклад, PM_{10} в викидах в атмосферу промислових підприємств. В роботі [12] відзначено, що інвентаризація викидів може служити основою для розробки програм управління якістю повітря.

В Україні ще не встановлено нормативи (ГДК) для викидів, що містять $PM_{2,5}$ та PM_{10} , хоча контроль цих показників ведеться з 2004 року. Стандарти різних країн світу для $PM_{2,5}$ та PM_{10} , наведені у табл. 1. [13]

Аналіз обмеженого обсягом статті навіть незначної кількості літературних джерел свідчить про необхідність урахування змісту фракцій дрібнодисперсних частинок пилу, наприклад, $PM_{2,5}$, PM_{10} , адсорбуючих на своїй поверхні в тому числі токсичні речовини, в викидах систем аспірації і

технологічної вентиляції підприємств з виробництва теплоізоляційних матеріалів. Таблиця 1 – Допустимі $PM_{2,5}$ та PM_{10} в атмосферному повітрі за (7 – 15)

Найменування речовини	Концентрація частинок, мкг/м ³			
	PM10		PM2,5	
	Сс.д.	Сс.р.	Сс.д.	Сс.р.
Європейський союз [7]	35-25	28-20	-	17-12
ВООЗ [8]	50	20	25	10
США [9]	150	-	35	12
Канада [10]	-	-	28	10
Австралія [11]	50	-	25	8
Китай [12]	150	70	75	35
Японія [13]	100	-	35	15
Росія [14]	60	40	35	25

Розрахунки на розсіювання в атмосфері фракцій дрібнодисперсних частинок пилу, $PM_{2,5}$, PM_{10} в даний час не проводяться, так як існуючі моделі розрахунку (наприклад, ОНД-86) не дозволяють отримувати адекватні результати. Крім того існують відомі проблеми моніторингу фракцій частинок пилу $PM_{2,5}$ і PM_{10} , наприклад, в житловій забудові. Отримані в результаті вимірів значення концентрацій фракцій частинок пилу $PM_{2,5}$ і PM_{10} при моніторингу не можуть бути відтворені з високим ступенем достовірності, так як представляють собою ймовірні величини різних за фізико-хімічними властивостями видів пилу підприємств, розташованих в тому чи іншому районі міста, міста, або регіону. При цьому бачиться найбільш доцільним нормування змісту фракцій частинок пилу $PM_{2,5}$ і PM_{10} в викидах систем аспірації і технологічної вентиляції виробництва теплоізоляційних матеріалів в атмосферне повітря. Проведений аналіз літератури, наприклад [11, 12], показує, що результати дисперсійного аналізу використовуються при чисельному моделюванні пиловловлювання для досягнення високого ступеня сепарації пилу з очищеного пилогазового потоку в системах знепильовування систем аспірації і вентиляції, у викидах в атмосферу підприємств будівництва і промисловості. Крім того, значення ефективних діаметрів, або

еквівалентних розмірів частинок пилу d_{pe} значно впливають на турбулентний перенос, наприклад, при стратифікації і розсіюванні в атмосфері, що вимагає більш точного їх визначення [17].

При цьому відомим підходом до визначення ефективних діаметрів, або еквівалентних розмірів з використанням результатів проведеного комплексного дисперсійного аналізу пилу.

Діаметр частинки довільної, що відрізняється від кулі форми, прийнято характеризувати величиною частинок пилу з деяким еквівалентним діаметром частинок пилу d_{pe} . Відповідна величиною d_{pe} швидкість витання часток пилу в газі u_p є важливими при розробці і виборі пилоуловлюючих пристроїв для систем аспірації на підприємствах будіндустрії, виробництва будівельних матеріалів інших галузях промисловості і т.п. Крім того, при проведенні різних технологічних процесів в фільтруючому, зваженому шарі частинок зернистого матеріалу (сушка, екстракція, аерокласифікація (сепарація) і пиловловлювання) є важливим вибір «робочих» швидкостей руху агента (газової фази), числа псевдооживлення w_p , також залежать від швидкості витання часток пилу u_p .

Ефективна величина горизонтальної проекції площі поперечного перерізу частинки $S_{эф}$ і відповідний їй розмір діаметра частинки пилу d_{pe} є ймовірними величинами, так як частинки довільної, що відрізняє від кулі форми, розташовуються на поверхні пластини (стрічки) в стохастичною, довільному положенні при дослідженні під мікроскопом. Отримувані при експериментальному дослідженні результати ефективних діаметрів d_p , або еквівалентних діаметрів частинки пилу d_{pe} на установці [13] за методикою літератури [7] в повній мірі не виключає впливу такого випадкового, довільного положенні частинки пилу на стрічці (пластині). Це пояснюється розподілом частки пилу на досліджуваній поверхні власне в залежності швидкості осадження u_s в газі, або швидкості витання u_p . Швидкості осадження u_s і витання u_p принципі не є

тотожними параметрами, однак, як правило, відрізняються за розмірами незначно [4, 5].

Відповідно до рекомендацій літератури, наприклад [4, 16], пропонується визначати еквівалентні величини діаметрів частинки пилу d_{pe} .

Слід також зазначити, що відхилення $D(dp)$ від прямопропорційно виду залежності в логарифмічній системі координат може також пояснюватися, не тільки тим, що форма і кількість щодо крупних частинок може також змінюватися від фракції до фракції. При цьому для малих частинок (менше 2,5 мкм) форма прагнути до кулястої [16]. Для частинок з великим значенням d_{pe} форма більшою мірою відрізняється від кулястої, і горизонтальна проекція площі поперечного перерізу частинки може задовільно апроксимувати тими чи іншими геометричними фігурами [16]. При цьому, чим більше частка (ефективний діаметр d_{pe}), тим частка пилу на досліджуваній поверхні пластини (стрічки) прагне приймати найбільш стійке з точки зору статичного положення з найбільшим поперечним перерізом частки в горизонтальній проекції, - опорою на поверхню пластини.

На підставі проведеного аналізу фізичної суті витання часток можна вважати, що величина швидкості витання часток в газі u_p є функцією ефективною величини горизонтальної проекції площі поперечного перерізу частинки $S_{эф}$, і еквівалентного їй діаметра частинок пилу d_{pe} . При цьому величина ефективною горизонтальної проекції площі поперечного перерізу частинки $S_{эф}$ визначається на основі дисперсійного аналізу пилу за методикою [6]. При цьому, діаметри частинок пилу d_{pi} розподіл часток пилу $D(dp)$ по фракціям, слід було б розраховувати з експериментально одержуваною величиною $S_{эф}$, отриманих значень дисперсного аналізу пилу. Найбільш правильно визначати величину ефективною горизонтальної проекції площі поперечного перерізу частинки $S_{эф}$ із величини її обсягу V , що визначається. Апроксимацію форми частинки можливо

здійснювати найбільш простими геометричними фігурами [16] з використанням даних дисперсійного аналізу [5, 7, 18]. Для більш точного визначення обсягу $V_{\text{слід}}$ проводити уточнений розрахунок відповідних їм основних параметрів (діаметра d_{pi} кулі, параметрів - радіусів еліпса, діаметра d_{pi} і висотою циліндра) і т.п. Можна припустити, що при дисперсному аналізі величина ефективної площі поперечного перерізу частинки $S_{\text{эф}}$ в горизонтальній проекції є максимальною S_{max} . Величина S_{min} може бути визначена в першому наближенні аналітично виходячи з апроксимується за формою тих чи інших геометричних фігур.

Таким чином, більш при проведенні дисперсного аналізу і визначення основних параметрів частинок при апроксимації їх форм спрощеними геометричними фігурами, наприклад кулею, - діаметра d_{pi} шару. При цьому, швидкості витання часток в газі u_p повинні співвідноситися зі скоригованими даними чином, основними параметрів геометричних тел-примітивів: еквівалентним обсягом діаметром кулі d_{eu} , радіусів еліпса, діаметром (d_{e1} , d_{e2}) та висоти циліндру (h_{e1} і т.п.).

В роботі [14] було введено поняття величини τ , що має розмірність часу, і вказано, що вона є однією з найважливіших при описі процесу осідання частинок:

$$\tau = \frac{1\pi d_p^2 \rho_p}{18 \nu} \quad (1)$$

де d_p – діаметр частинки, м.

Практично на установці [12] визначається гідравлічний розмір, або гідравлічна крупність частинки $d_{pe}(\tau_{pe})$ [8, 9], інтегрально враховує геометричні та фізичні характеристики еквівалентного розміру (діаметра) частинок пилу d_{pe} , який визначається в свою чергу зі співвідношення (1).

$$d_{pe}(\tau_{pe}) = \sqrt{18 \nu \tau_{pe} / \pi \rho_p} \quad (2)$$

де τ_{pe} час осідання частинок еквівалентного розміру (діаметра) d_{pe} , визначається експериментально на установці [13], з; ν –

кінематична в'язкість повітря (газоповітряної суміші), $\text{м}^2/\text{с}$; ρ_p – щільність частинок пилу, $\text{кг}/\text{м}^3$.

У той же самий час на установці проводиться дисперсійний аналіз частинок пилу з використанням методики [4, 7]. При цьому визначається розмір часток d_p . У кожній з ділянок стрічки на установці визначається ефективний розмір, еквівалентний за площею діаметр частинок пилу d_p (по фракціям) позначенням d_{pe} та τ_{pe} . Еквівалентний діаметр частинок пилу d_{pe} (по фракціям), який в першому наближенні можна визначати, наприклад, по співвідношенню з використанням середньгеометричної величини, властивої геометричної фігури (лінійними розмірами, діаметрам і т.п.), який з урахуванням співвідношень (1) і (2) набуде вигляду:

$$d_{pg} = \frac{2d_p \sqrt{18 \nu \tau_p / \pi \rho_p}}{\left(d_p + \sqrt{18 \nu \tau_p / \pi \rho_p}\right)} \quad (3)$$

Середньгеометричні значення величини еквівалентного діаметра частинок пилу d_{pg} для фракції виходить виходячи з аналізу інтегральної функції розподілу $D(d_{pg})$.

Зазвичай дисперсний склад представлений графіком розподілу часток пилу, приклад якого наведено на рис. 1. При цьому залежність $D(d_{pg})$ як функція еквівалентного діаметра частинок пилу d_{pg} , в логарифмічних координатах, в першому наближенні [14] може бути представлена у вигляді

$$d_{pg} D(d_{pg}) = C + A d_{pg} \quad (4)$$

де A і C - деякі постійні величини для образців досліджуваного пилу.

На рис. 1 частинки пилу $D(d_{pg})$ розподіляються за розмірами d_{pg} для деяких видів пилу теплоізоляційних матеріалів:

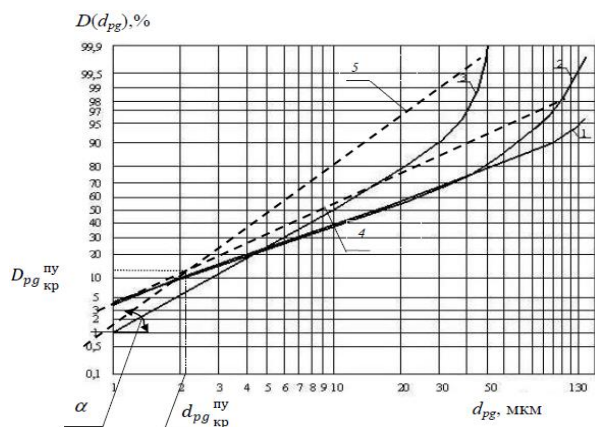


Рис. 1. Графік залежності інтегрального розподілу часток пилу

- 1,2, - за експериментальними даними на вході в систему знепилювання (в пиловловлювач),
- 3 - за експериментальними даними на виході з системи знепилювання (пиловловлювача),
- 4 - залежність, одержувана з обробки експериментальних даних залежності 2,
- 5 - залежність, одержувана з обробки експериментальних даних залежності 3.

Відомо, що якщо в співвідношенні (4) в реальному графіку розподілу $C \rightarrow 0$. На графіку розподілу, наприклад, - для залежності 4, одержуваної при статистичній обробці експериментальних даних залежності 2, в загальному випадку $C \geq 0$, а постійна A визначається з відомої рівності наприклад, виміром:

$$A = tg(\alpha) \tag{5}$$

Аналітично кут α визначається зі співвідношення [16]

$$tg(\alpha) = \frac{1}{\beta\sqrt{2}} \tag{6}$$

де $\beta^2 = \overline{(d - \bar{d})^2}$ середньоквадратичне відхилення, або дисперсія величини середньгеометричного розміру частки d_{pg} від діаметру d .

У фізичному сенсі кут α є показником, або ступенем дисперсності пилу Δ_d . Аналітично отримується чисельне значення величини $tg(\alpha)$ характеризує ступінь дрібнодисперсного пилу Δ_d . Чим більше $tg(\alpha)$ (угол α), тим пил має склад більш високого ступеня дрібнодисперсних Δ_d . Отримується середньгеометричні значення величини еквівалентного діаметра частинок пилу d_{pg} виходить виходячи з

аналізу усередненої за експериментальними даними інтегральної функції розподілу $D(d_{pg})$ (Залежність, одержувана з обробки експериментальних даних залежності 3). За даними літератури [16], даний показник d_{pg} (Еквівалентний середньгеометричний розмір часток) більш точно характеризує досліджуваний зразок пилу, так як згладжує відомі дефекти проведення дисперсійного аналізу частинок пилу при мікроскопічному дослідженні, наприклад, з використанням методик [4, 7]. При цьому, для досягнення високого ступеня сепарації пилу пиловловлювачем η середнеміанное значення розміру часток пилу на виході з пиловловлюючого пристрою повинно бути менше значення для частинок пилу на вході в пиловловлювач. Величини $\delta_{re50}^{пу}$, $\delta_{re50}^{пу\ вих}$, $\delta_{re\ кр}^{пу\ вих}$ визначаються на основі математичної обробки експериментально отриманих даних дисперсного складу виду (5) для пилу у вхідному і вихідному патрубку пиловловлювача в досліджуваних аеродинамічних режимах. Виходячи з аналізу залежностей 4 і 5, зображених на мал.1 і можна зробити висновок про значущість точки їх перетину $\delta_{re\ кр}^{пу\ вих}$ і про ступінь сепарації пилу з очищеного пилогазового потоку уловлює пристрої η . Можна зробити висновок, що значення $d_{re\ кр}^{пу}$ є деяким критично значенням, менше якого пиловловлювач не уловлює частки пилу. При цьому зміна еквівалентного діаметра частинок пилу: укрупнення частинок за рахунок їх взаємодії (коагуляції, гранулювання (зчеплення) і т.п. факторів, що впливають) і стирання (дезінтеграція) в пиловловлювачі не враховується. У цьому випадку величина ступеня сепарації пилу пиловловлювачем може оцінюватися за співвідношенням

$$\eta \leq 100 D(d_{pg}^{пу}) \tag{7}$$

де $D(d_{pg}^{пу})$ - значення інтегральної функції розподілу $D(d_{pg})$ для величини еквівалентного діаметра частинок пилу $d_{pg}^{пу}$, %.

Висновки. В роботі запропонований метод оцінки величини ефективності пилу пиловловлювальним пристроєм на основі даних дисперсійного аналізу пилу у вхідному і вихідному патрубку пиловловлювача в досліджуваних аеродинамічних режимах.

Даний підхід може бути використаний пиловловлювання, а й доповненням до відомих методів такого параметра (метод зовнішньої фільтрації при дослідженні роботи пиловловлювача).

Еквівалентний середньгеометричний розмір часток d_{pg} , визначається при математичній обробці даних дисперсійного аналізу пилу, і інтегральна функції розподілу $D(d_{pg})$ більш точно характеризують досліджуваний зразок пилу, так як згладжують відомі дефекти дисперсійного аналізу частинок пилу при мікроскопічному дослідженні.

Такий підхід доцільно використовувати для розробки нових конструкцій пиловловлювачів із заданим ступенем сепарації пилу пиловловлювачем з обумовленими параметрами $D(d_{pg})$ вловлюються частинок пилу.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Балтернас П.Б. Обезпилювання повітря на підприємствах будматеріалів.- М.: Стройиздат, 1991.
2. Комар А.Г. Будівельні матеріали і вироби, М.: Вища школа, 1988. - 522 с.
3. Рибалова О.В., Варламов С.М., Гаджиев Е.Н. Визначення рівня негативного впливу на здоров'я населення викидів забруднюючих речовин від виробництва теплоізоляційних матеріалів // Науковий вісник будівництва. – 2017. - Т. 90. - №4. – С. 224-232.
4. Коузов, П.А. Методи визначення фізико-хімічних властивостей промислового пилу. Л.: Хімія, 1983. - 138с.
5. Коузов, П.А. Очистка від пилу газів та повітря в хімічній промисловості. Л.: Хімія, 1982. – 256 с.
6. Азаров, В.Н. Комплексна оцінка пилового стану та розробка мір по зменшенню запиленості повітряного середовища промислових підприємств: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.26.01. Ростов-на-Дону, 2004. - 48с.
7. Азаров В.Н., Сергіна Н.М. Методика мікроскопічного аналізу дисперсного складу пилу з застосуванням персонального

- комп'ютера (ПК) / В.Н. Азаров, Н.М. Сергіна: Волгогр. держ. арх.-буд. акад. Волгоград, 2002. Деп. В ВІНИТИ 15.07.2002, №1332-80002. – 7 с.
8. Strelets K.I., Kitain M.B., Petrochenko M.V. Welding Spark Parameters Determination for Cyclone Removal Calculation // Advanced Materials Research. 2014. - V. 941. - Pp. 2098-2103.
9. Cortes C., Gil A. Modeling the gas and particle flow in side cyclone separators // Progress in energy and combustion Science. - 2007. - V.33. - №.5. - Pp.409-452.
10. Кошкарев, С.А., Кисленко, Т.А. О застосуванні апарату пиловловлювача з комбінованою схемою сепарації пилу із пилогазового потоку у виробництві кераміки//Альтернативна енергетика і екологія, 2013, №11. - С.47-49.
11. Бахтин, Н.И., Янюшкин, В.В., Ольшевский, Д. В. Математичне моделювання пиловловлювання в технологічних системах, зменшуючих викиди дисперсних частинок в атмосферу // Інженерний вісник Дона, 2008, вип.2 (№2). URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2008/58.
12. Маринин, Н.А. Дослідження дисперсного складу пилу в інженерно-екологічних системах і викидах в атмосферу підприємств будіндустрії: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.19. Волгоград, 2014. - 20с.
13. Юрченко В. О., Пономарьов К. С., Пономарьова С. Д. Дослідження дисперсного складу пилу крохмалю в викидах від обладнання кондитерських підприємств. // Науковий вісник будівництва, Т. 90, №4, 2017. - 233 с.
14. Медников, Е.П. Турбулентний перенос і осадження аерозолів. М.: «Наука», 1981. - 176с.
15. Гробов А.Б., Азаров В.Н., Азаров Д.В., Юрькян В.Ю. // Об'єднаний науковий журнал. -2003. - №6 (64). – С. 51-53.
16. Фукс, Н.А. Механіка аерозолів. М.: Вид-во АН СРСР, 1955. - 352с.
17. Коузов, П.А. Основи аналізу дисперсного складу промислового пилу і подрібнених матеріалів. Л.:Хімія,1987. - 264с.
18. Азаров В.Н., Кошкарев С.А., Николенко, М.А., Буханова Р.А. Исследование основных показателей выбросов пыли асбестоцемента в атмосферный воздух для оценки их влияния на качество жизни работающих. // Инженерный вестник Дона, 2014. - №3. – С. 25-39.

Гаджиев Э.Н. ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ЗА СЧЕТ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА ПЫЛИ. В статье описан перспективный метод снижения выбросов пыли в атмосферу разработке пылеуловителей обеспыливающих систем аспирации в производстве строительных материалов. На основе результатов дисперсионного анализа пыли минеральной ваты, предложен обобщенный подход к определению эффективного размера частиц пыли. Предложен и апробирован на практике подход к определению функциональной зависимости интегрального распределения частиц пыли по эквивалентному размеру (эффективному размеру). Описан практичный способ определения критического (минимального) эквивалентного размера частиц пыли потенциально улавливаемых пылеуловителями. Обоснованы принципы разработки новых конструкций высокоэффективных пылеуловителей и увеличение степени сепарации с использованием результатов дисперсионного анализа улавливаемой пыли.

Ключевые слова: минеральная вата, пыль, пылеуловитель, сепарация, дисперсионный анализ, гидравлический размер, эквивалент-

ный диаметр, аспирация, обеспыливание, выбросы загрязняющих веществ.

Hajiyev E.N. INCREASE ENVIRONMENTAL SAFETY ON PRODUCTION OF THERMAL INSULATING MATEROALS BY REDUCE EMISSIONS USING ANALYSIS OF VARIANCE DUST. The article describes a promising method of reducing dust emissions development precipitators dedusting aspiration systems in the production of building materials. Based on the results analysis of variance dust mineral wool is provided a generalized approach to determining the effective size of the dust particles. Proposed and tested practical approach to the determination of the functional dependence of the cumulative distribution of dust particles on the equivalent amount (effective amount). Discloses a practical method for determining the critical (minimum) of equivalent size dust particles potentially trapped dust collectors. The principles of the development of new designs of high-performance dust removal and increase the degree of separation using the results of variance analysis of captured dust.

Keywords: Mineral wool, dust, a dust separator, separation, analysis of variance, hydraulic size equivalent diameter, aspiration, dedusting, pollutant of emissions.

DOI: 10.29295/2311-7257-2018-92-2-312-318
УДК 691.32

Сопов В.П., Долгий В.П.

*Харківський національний університет будівництва і архітектури
(вул. Сумська, 40, Харків, 61002, Україна; e-mail: vsopov@ukr.net)*

ВПЛИВ ХІМІЧНИХ ДОБАВОК НА РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ БЕТОННИХ СУМІШЕЙ

Проведено аналіз літературних джерел з метою встановлення можливості заповнення бетонною сумішшю обмеженого простору трубобетонних конструкцій складного перетину. Розроблено ефективні склади бетонних сумішей для їх перекачування на великі відстані. Досліджено основні реологічні і фізико-механічні властивості отриманих складів бетонних сумішей.

Ключові слова: реакційно-порошкові бетони, високорухомі бетонні суміші, трубобетон, легкоукладальність, склад бетону.

Введення. Розвиток будівельної галузі тісно пов'язане з розвитком всієї економіки держави, що призводить до впровадження унікальних інноваційних проектів. Такий процес відкриває нові вимоги до бу-

дівельних конструкцій, матеріалів і виробів. Бетонознавство і технології бетону та залізобетону переживають період революційного стрибка, викликаного, в основному, застосуванням високоміцних і ком-