

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Основи процесів очищення промислових
викидів від пилу**

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

**Київ
КПІ імені Ігоря Сікорського
2021**

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Основи процесів очищення промислових викидів від пилу

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів рівня вищої освіти бакалавр
за освітньо-професійною програмою ОПП «Екологічна безпека» спеціальності 101 Екологія;
ОПП «Промислова екологія та ресурсоефективні чисті технології» спеціальності 161 Хімічні
технології та інженерія.*

Київ
КПІ імені Ігоря Сікорського
2021

Основи процесів очищення промислових викидів від пилу. Лабораторний практикум [Текст]: навч. посіб. для студентів спеціальності 101 Екологія; 161 Хімічні технології та інженерія / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: О. І. Іваненко, Т. А. Оверченко, Ю. В. Носачова, М. М. Твердохліб. – Київ: КПІ імені Ігоря Сікорського, 2021. – 35 с.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № від 2021р.)
за поданням Вченої ради Інженерно-хімічного факультету (протокол № від 2021 р.)*

Навчальне видання
**Основи процесів очищення промислових викидів від пилу.
Лабораторний практикум**

Укладачі: **Іваненко Олена Іванівна, д.т.н, доцент**
Оверченко Тетяна Анатоліївна, к.т.н., старший викладач
Носачова Юлія Вікторівна, к.т.н., доцент
Твердохліб Марія Миколаївна, к.т.н., асистент

Рецензент: **Сокольський Олександр Леонідович, д.т.н., доцент**

Відповідальний
редактор: **Гомеля Микола Дмитрович, д.т.н., професор**

У методичних вказівках до виконання лабораторних робіт подані основні теоретичні положення, перелічено необхідні прилади, обладнання і матеріали, представлено опис схем лабораторних установок, що використовуються в ході проведення роботи. Викладений порядок проведення досліджень запиленості міського повітря масометричним методом, вимірювання радіоактивного фону повітряного середовища, визначення основних фізичних властивостей промислового пилу, процесу очищення газів від різних механічних домішок за допомогою циклону та рукавного фільтру. Методичні вказівки спрямовані на придбання знань та навичок щодо вивчення методів та апаратів очищення пилогазових викидів в сучасних умовах концепції захисту атмосферного повітря.

Посібник призначений для студентів-здобувачів ступеня бакалавра, які навчаються за освітньою програмою «Екологічна безпека» спеціальності 101 «Екологія» та за освітньою програмою «Промислова екологія та ресурсоефективні чисті технології» спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» на інженерно-хімічному факультеті КПІ ім. Ігоря Сікорського.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021

ПЕРЕДМОВА

Дисципліна «Основи процесів очищення промислових викидів від пилу» належить до циклу професійної підготовки, відповідно до освітньо-професійної програми ОПП Екологічна безпека рівня вищої освіти бакалавр спеціальності 101 Екологія; ОПП Промислова екологія та ресурсоефективні чисті технології рівня вищої освіти бакалавр спеціальності 161 Хімічні технології та інженерія. Предметом навчальної дисципліни є дослідження основних методів і технологій очистки газових викидів від пилу, утилізації відходів та основного обладнання, що використовується в технологічних процесах очистки забруднених промислових викидів.

Мета роботи – допомогти студентам у виконанні лабораторного практикуму з даного курсу, закріпити теоретичні знання, оволодіти методами контролю за станом атмосфери, оцінювати їх ефективність та вплив різноманітних техногенних факторів на стан довкілля. В процесі роботи студенти мають набути навичок виконання науково-дослідних робіт, проведення наукового пошуку, вміння проаналізувати отримані результати, зробити висновки та розробити рекомендації.

Перед початком виконанням лабораторних робіт студенти мають обов'язково пройти загальний інструктаж з техніки безпеки виконання експериментальних робіт на лабораторних стендах, проведення експериментальних досліджень під наглядом викладача, відповідні вмикання та вимикання установки, обробку результатів дослідження. Порушення або невиконання студентом вимог техніки безпеки при проведенні лабораторних робіт кваліфікується як грубе порушення правил внутрішнього розпорядку КПІ ім. Ігоря Сікорського з відповідними наслідками.

Лабораторна робота № 1

Визначення кількості пилу у повітрі

Мета роботи: дослідити запиленість міського повітря масометричним методом.

Теоретичні положення

Запиленість повітря – важливий екологічний чинник. Пил може бути як токсичним, так і ні. Але навіть нетоксичний пил може адсорбувати на своїй поверхні газоподібні, паруваті чи рідкі сполуки. Завдяки цьому змінюються його властивості та збільшується небезпека як для рослин, так і для тварин та людей. Небезпека пилу для людини визначається його хімічною природою, концентрацією, формою часток, токсичністю, здатністю сорбувати забруднюючі речовини.

Найбільше пилове забруднення повітря у містах спостерігається в місцях інтенсивного будівництва, поблизу промислових підприємств, ТЕС, пожвавлених автомагістралей. Для спостереження за станом повітря у містах встановлюють стаціонарні пости. Окрім концентрації хімічних сполук у повітрі визначають і вміст пилу та його гранулометричний склад.

Пилові часточки можуть мати різні розміри, колір, хімічну природу, форму. За розміром часток пил можна розподілити на тонкодисперсний (легкі і рухомі часточки розміром до кілька десятків мікрометрів, які довго утримуються в повітрі і в разі вдихання людиною можуть накопичуватися в легенях) та грубодисперсний (великі та важкі частки, що швидко осаджуються). Хімічний склад пилу залежить від походження – часточки сажі, металів, цементу тощо. За формою часточки пилу можуть бути як округлими правильної форми, так і мати гострі кути. Потрапляючи на листя дерев, вони не лише створюють перешкоду для проходження сонячного світла, знижуючи інтенсивність фотосинтезу і

первинну продуктивність рослин, а й можуть завдавати механічних пошкоджень гострими краями або спричиняти опіки та отруєння.

Прилади, обладнання та матеріали

- ваги аналітичні;
- ватні кульки.

Порядок виконання роботи

Збирають листки одного виду дерев в заданій кількості на відстані 50, 100, 150, 200 метрів від джерела забруднення, на висоті 1,5 – 2 м (висота шару повітря, яке вдихає людина). Листки складають у пакети і переносять до лабораторії, уникаючи струшування пилу. У лабораторних умовах зважують шматочки вати на аналітичних терезах з точністю до $\pm 0,0002$ г (m_1). З зібраного листя ретельно витирають пил попередньо зваженою ватою. Забруднену пилом вату повторно зважують на терезах (m_2). Масу пилу визначають як різницю між двома зважуваннями:

$$\Delta m = m_2 - m_1.$$

Площу листка, з якого зібрано пил, вимірюють за допомогою міліметрового паперу, або звичайного паперу. Для цього малюнок листка переносять на папір та вирізають по обрису. З цього ж паперу вирізають сегмент площею 1 см^2 і визначають його масу за допомогою аналітичних терезів (m_3). Також зважують вирізаний з паперу листок (m_4). Кількість сегментів на листі, а отже і його площу можна визначити, розділивши масу листка на масу сегменту площею 1 см^2 :

$$S = m_4 / m_3.$$

Кількість пилу на листях обчислюється за формулою:

$$M = \Delta m / S, \text{ мг/см}^2.$$

Отримані дані заносять у таблицю.

Відстань від джерела забруднення, м	Площа листків, см^2	Кількість пилу, мг/см^2

За даними вимірювання будують графік залежності запиленості повітря від віддаленості джерела забруднення.

Висновки: На основі одержаних результатів зробити висновки щодо запиленості місцевості та впливу джерела забруднення.

Лабораторна робота № 2

Визначення радіоактивності пилу в повітрі

Мета роботи: ознайомитися з конструкцією та роботою приладу "БЕТА" та навчитися вимірювати радіоактивний фон повітряного середовища.

Теоретичні положення

Термін "радіоактивність" був запропонований в 1898 р. Марією Складовською-Кюрі, яка разом з П'єром Кюрі відкрила два нових радіоактивних елементи: полоній та радій. На честь вчених перша одиниця вимірювання радіоактивності була названа "Кюрі". Радіоактивність в один Кюрі створює 1 грам радію. З другого боку, одиниця радіоактивності в 1 Кюрі - це така кількість радіоактивної речовини, в якій за секунду відбувається $3,7 \cdot 10^{10}$ розпадів.

Розрізняють такі види випромінювання:

- α – випромінювання представляє собою ядра гелію, так як вони важкі та мають малу проникаючу здатність (до 1 см);
- β – випромінювання – це електрони, які мають велику проникаючу здатність;
- γ – випромінювання – це електромагнітне випромінювання, яке має дуже велику проникаючу здатність.

Дози радіоактивного випромінювання.

Поглинаюча доза – енергія іонізуючого випромінювання, яка поглинається тілом в перерахунку на одиницю маси, вимірюється в *греях (Гр)*.

Еквівалентна доза – поглинаюча доза, помножена на коефіцієнт, який враховує здатність певного виду випромінювання ушкоджувати тканини організму, вимірюють в *зівертах (Зв)*.

Ефективна еквівалентна доза – еквівалентна доза, помножена на коефіцієнт, який враховує чутливість різних тканин до опромінювання, вимірюється в *зівертах (Зв)*.

Колективна ефективна еквівалентна доза – ефективна еквівалентна доза, яка отримана групою людей від будь-якого джерела радіації, вимірюється в *людино-зівертах (люд-Зв)*.

Повна колективна ефективна еквівалентна доза – колективна ефективна еквівалентна доза, яку отримує покоління людей від будь-якого джерела за весь час його подальшого існування.

Існують як природні, так і штучні джерела радіації. Основну частину опромінювання населення Земної кулі отримує від природних джерел радіації. Людина підлягає опромінюванню двома способами. Радіоактивні речовини можуть знаходитись поза організмом і опромінювати його зовні. А також можуть бути в повітрі, яким дихає людина, їжі чи воді і потрапити всередину організму. Такий метод опромінювання називають внутрішнім. Опроміненню від природних джерел радіації підлягає кожен мешканець Землі. Земні джерела радіації в сумі відповідні за більшу частину опромінювання. В середньому вони забезпечують 5/6 річної ефективної еквівалентної дози, яку отримує населення внаслідок внутрішнього опромінювання. Другу частину складають космічні промені, головним чином, шляхом зовнішнього опромінювання.

Радіаційний фон, який створюється космічними променями, дає трохи менше половини зовнішнього опромінювання для населення.

Основні радіоактивні ізотопи, що зустрічаються в горних породах Землі – це калій – 40, рубідій – 87 і члени двох радіоактивних родин, які беруть свій

початок від урану-238 і торію-232. Рівні земної радіації неоднакові для різних місць Земної кулі і залежать від концентрації радіонуклідів на тій чи іншій ділянці земної кори. В місцях проживання основної маси населення вони приблизно одного порядку.

Середня ефективна еквівалентна доза зовнішнього опромінення, яку отримує людина за рік від земних джерел радіації, складає приблизно 350 микрозівертів, тобто трохи більше середньої індивідуальної дози опромінення із-за радіаційного фону, який створюється космічними променями на рівні моря.

Індивідуальні дози опромінення, які отримують різні люди від штучних джерел радіації, сильно розрізняються. В більшості випадків ці дози невеликі, але іноді опромінення за рахунок техногенних джерел виявляються в багато тисяч разів інтенсивнішим, ніж за рахунок природних. Основний вклад в дозу, що отримує людина від техногенних джерел радіації, вносить медичні процедури і методи лікування, які пов'язані з використанням радіоактивності. В багатьох країнах це джерело відповідає практично за всю дозу, яку люди отримують від техногенних джерел радіації.

Для вимірювання радіаційного випромінювання в якості одного з можливих приладів використовується радіометр БЕТА. Він складається з камери для вимірювання і блоку управління. Блок управління живиться постійним струмом і з'єднується кабелем з камерою для вимірювання, в якій розташовані лічильник імпульсів і кювета для зразків. Лічильник має електроди, які розташовані в газовому просторі. Радіоактивна частка, яка потрапляє до лічильника, призводить до утворення електричного імпульсу, який посилюється і фіксується на табло блоку управління. Блок управління має декілька режимів для визначення кількості імпульсів від 0 до 2000 с, після закінчення яких звучить звуковий сигнал. Режим вимірювання вибирається в залежності від фону оточуючого середовища. Чим вищий фон, тим коротший час виміру кількості імпульсів.

Прилади та обладнання

- радіометр БЕТА;

- вентилятор.

Порядок виконання роботи

В камеру під газорозрядний лічильник розмістити порожню кювету з вирізаними паперовими фільтрами, крізь які потім буде пропущене повітря. Установити режим рахування імпульсів, включити звукову сигналізацію і включити лічильник. Після закінчення рахування зафіксувати показники лічильника. Вимірювання повторити ще 2 рази і знайти середнє значення та розрахувати точність вимірювання. Зробити позначку на зовнішньому боці фільтру і після цього розмістити фільтр над отвором вентилятору. Увімкнути вентилятор і на протязі 10 хв. пропускати крізь нього повітря. Далі вийняти фільтр, покласти його в кювету, яку потім розмістити в лічильній камері і виконати три виміри. Результати занести до таблиці. Фільтр знову відповідним боком розмістити в вентиляторі і ще 10 хв. просмоктувати повітря, після чого знову зробити відповідні виміри радіоактивності фільтру.

Таблиця результатів вимірювань

№ вимірювання	Вимірювання фону	Час просмоктування повітря, хв.			
		10	20	30	40
1					
2					
3					
Середнє значення					

Побудувати залежність наростання радіоактивності фільтру від об'єму пропущеного повітря.

Розрахунки проводять за формулою:

$$M = (P - P') / (t \cdot K),$$

де P – середній показник радіоактивності зразка після пропускання повітря, імп.;

P' - середній показник радіоактивності фону, імп.;

t – час виміру, с;

K – коефіцієнт перерахунку імпульсів в кюрі, $K = 3,85 \cdot 10^7$.

Висновки: На основі одержаних результатів зробити висновки щодо радіоактивності фону повітряного середовища.

Лабораторна робота № 3

Визначення фізичних властивостей промислового пилу

Мета роботи: вивчити основні фізичні властивості промислового пилу.

Теоретичні положення

Відомості про фізичні властивості пилу необхідні для обґрунтування інженерних рішень при розробці пилоуловлюючих установок, які широко використовуються для зниження запиленості атмосфери.

При проектуванні пиловловлювачів і технологічних схем пилоочистки враховують ряд параметрів, що характеризують фізико-хімічний склад пилу. До них відносяться концентрація, щільність, дисперсний склад, змочуваність, сипкість, злипання, питомий електричний опір, вибуховості, абразивність, хімічний склад і ін.

Об'єм пилу для визначення її фізико-хімічних характеристик повинен містити достатню кількість аерозольних часток. Так, для визначення хімічного і мінералогічного складу зазвичай потрібно 20-30 г пилу, для аналізу дисперсного складу – 50-100 г, насипної щільності та кута природного укосу - 200-300 г,

змочуваності і злипання - по 15-20 г, абразивності - 200-300 г. Для повного дослідження зазвичай досить 800 г.

Для отримання порівнянних результатів кожне дослідження властивостей частинок має проводитися з проб пилу, витриманих в атмосфері повітря певної вологості. Це запобіжить помилку в оцінці частки основної речовини в навішуванні за рахунок зміни його вологості між проведеними аналізами.

Перед проведенням досліджень пробу пилу ретельно переперемішують методом накатки. Для цього пробу пилу вагою не більше 100 г розсипають на аркуші чистої гладкого паперу і розрівнюють на площі розміром 35 x 35 см, де її розмішують рівномірно, без пилення в повітря. Для цього один край листа піднімають вертикально, поки пил, перекочуючись, не досягне протилежного краю паперу. Потім піднімають цей край і повторюють процес до тих пір, поки валик з пробкою не займе всю ширину аркуша. Потім так само виробляють перекочування в перпендикулярному напрямку.

Всю процедуру повторюють не менше 5-6 разів. З останнього утвореного валика (з різних місць по довжині) беруть шпателем невеликі кількості пилу. Потрібно стежити за тим, щоб відібрана наважка не перевищувала необхідної кількості, так як, віднімаючи матеріал, можна спотворити склад проби. Якщо наважка виявиться недостатньою, то до неї додають невеликі кількості пилу, які додатково відбираються шпателем зі всієї довжини валика.

Під час роботи необхідно визначати:

- 1) уявну щільність пилу;
- 2) насипну щільність пилу;
- 3) сипкість пилу по динамічному куту природного укосу;
- 4) загальні висновки про фізичні властивості вивченого промислового пилу.

Прилади та обладнання

- шпатель для засипки пилу;
- пікнометр ПТТ КШ 14/23 50 мл;
- вакуумнасос;

- аналітичні ваги;
- воронка скляна;
- піддон для збору залишків (просипу) пилу;
- піпетка або шприц на 5-20 мл;
- термометр для виміру температури від 0 до 50°;
- таблиці щільності пікнометричних рідин при різних температурах (або денсиметр для визначення щільності пікнометричної рідини, циліндр місткістю 250 мл і термостатуюча посудина діаметром 12-15 см, висотою 80 см);
- алюмінієвий (або мірний) циліндр з прийомним кільцем;
- штатив;
- лінійка (або ніж);
- циліндрична ємність з плоским дном;
- транспортер з лінійкою;
- сушильна шафа.

Визначення щільності пилу пікнометричним способом

Розрізняють декілька видів щільності частинок пилу і насипної щільності.

Істинна щільність частинок пилу являє собою масу одиниці об'єму частинок, які не мають пор.

Уявна щільність частинок пилу - маса одиниці об'єму частинок, включаючи і об'єм закритих пор.

Об'ємна щільність часток пилу - маса одиниці об'єму частинок, включаючи об'єм закритих і відкритих пор.

Насипна щільність - маса одиниці об'єму уловленого пилу, вільно насипаного в будь-яку ємність безпосередньо після її заповнення. В її об'єм входять внутрішні пори частинок і проміжний простір між ними.

Щільність пилу визначається тільки після відокремлення її частинок від газового середовища. Методики визначення щільності уловленого пилу і порошкоподібного матеріалу ідентичні.

Якщо пил отриманий шляхом подрібнення моноліту, то щільність матеріалу частинок збігається з істинною щільністю. Частинки промислового пилу, що утворюється в результаті горіння, гранулювання, сушіння та інших процесів, мають закриті пори, з яких видалити газ наявними в даний час засобами не вдається. Щільність таких частинок відповідає уявній щільності.

Промисловий пил може складатися з частинок як однакової, так і різної щільності. До першого виду належать, наприклад, кварцовий, корундовий пил або хімічно чисті солі, до другого - летюча зола, в грубих фракціях якої є незгорілі частки палива, а в тонких - підвищена кількість солей кальцію і лужних металів.

Різні по крупності фракції можуть містити частинки різної структури. Так, силікагель або миючі порошки можуть в грубих фракціях містити незруйновані порожнисті частинки, а в тонких - зруйновані, мають іншу структуру і, відповідно, іншу уявну щільність.

Пікнометричний метод заснований на визначенні обсягу рідини, витісненої порошком, маса якого попередньо оцінена. Частка від ділення маси матеріалу на витіснений їм об'єм дорівнює щільності матеріалу.

Застосовувана рідина не повинна взаємодіяти з пилом, тобто вона повинна бути нейтральна по відношенню до частинок пилу: не вступати з ними в хімічну реакцію і не викликати розчинення або набрякання.

У тих випадках, коли не вдається підібрати пікнометричну рідину, щільність пилу можна визначати методом витіснення повітря, званим також манометричним методом.

Рідинний пікнометр являє собою скляну колбу з вузькою шийкою, на якій нанесена позначка - показчик об'єму пікнометра при 20 °С. Вище мітки шийка пікнометру має розширення, що служить для запобігання викиду рідини при вакуумуванні. Для запобігання випаровування рідини пікнометр забезпечений

притертою пробкою. Найбільш зручні для визначення щільності пилу пікнометри об'ємом 50 см³.

Температура рідини під час аналізу повинна бути стабільною, так як зміни об'єму рідини, що викликаються нестабільністю температури, служать джерелом помилок вимірювання температури.

Порядок виконання роботи

Проведення аналізу складається з ряду послідовно виконуваних операцій. Якщо немає таблиці щільності пікнометричних рідин при різних температурах, тоді наповнюють термостат дистильованою водою, включають його і підтримують в ньому температуру $20 \pm 0,5$ °С протягом усього досліду.

У циліндр місткістю 250 мл заливають 200 мл пікнометричної рідини і витримують його в термостаті 20-30 хв. Вимірюють денсиметром щільність пікнометричної рідини ρ_p при 20 °С. Визначають масу сухого порожнього пікнометру G_1 зважуванням на аналітичних вагах. За допомогою воронки діаметром 7 см насипають в пікнометр досліджуваній пил і визначають масу пікнометру з пилом G_2 . Шар пилу повинен займати близько 1/3 об'єму пікнометру. У пікнометр з пилом вливають 20-25 мл пікнометричної рідини. Обертальним рухом збовтують вміст пікнометру до повного змочування пилу рідиною. Далі підключають (рис. 1) пікнометр (1) вакуумним шлангом (3) до вакуумного насоса (5) при відкритому затиску (2). Потім обережно прикривають зажим (2) і починають вакуумувати, спостерігаючи, щоб бульбашки повітря не захоплювали рідину з пилом. Продовжують вакуумування до припинення виділення бульбашок з рідини (кипіння). При цьому залишковий тиск після вакуумування вимірюється вакуумметром (4), має бути 2-4 кПа (15-30 мм рт. ст.). Показником досить повного видалення повітря є збереження рівня рідини в пікнометрі при повторному вакуумуванні.

Після закінчення вакуумування обережно відкривають зажим (2), від'єднують пікнометр і поміщають його в термостат на 30-40 хв. Потім піпеткою (або

шприцом) доливають в пікнометр до мітки пікнометричну рідину, витриману в термостаті. Пікнометр насухо витирають і визначають масу пікнометру з пилом і рідиною $G_{п+р}$. Видаляють з пікнометру рідину і пил, прополіскують його пікнометричною рідиною. У пікнометр заливають чисту пікнометричну рідину до мітки і визначають масу пікнометру з рідиною G_p .

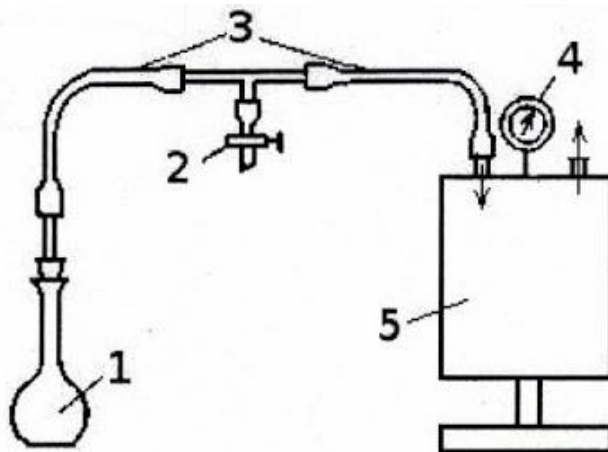


Рис. 1. Схема приєднання пікнометру до вакуумнасосу: 1 - пікнометр, 2 - зажим; 3 - вакуумний шланг; 4 - вакуумметр; 5 – вакуумний насос

Обробка результатів вимірювань

Обчислення уявної щільності матеріалу частинок пилу (в г/см^3) проводять за формулою:

$$\rho_y = \frac{\rho_p \cdot G_{п}}{G_p - (G_{п+р} - G_{п})},$$

де ρ_p - щільність пікнометричної рідини, г/см^3 ;

$G_{п} = (G_2 - G_1)$ - маса пилу в пікнометрі, г;

$G_p - (G_{п+р} - G_{п})$ - маса витісненої пилом пікнометричної рідини, г;

G_p - маса пікнометра з пікнометричною рідиною, г;

$G_{п+р}$ - маса пікнометра з пилом і рідиною, г.

Визначення щільності виробляють паралельно на двох наважках, взятих з вихідної проби. Розбіжність між результатами двох паралельних визначень не повинно перевищувати 3 %. Якщо розбіжність більше 3 %, роблять третє

визначення і за результат приймають середнє арифметичне двох найбільш близьких визначень, в межах допустимої 3 % розбіжності.

Приклад розрахунку

Визначають щільність матеріалу частинок кварцового пилу $\rho_{п.к.}$. Як пікнометричну рідину обрали воду, яка має при 20 ° С щільність $\rho_p = 0,99823 \text{ г/см}^3$.

Визначаємо зважуванням на аналітичних вагах з точністю до 1 мг (без притертої пробки зверху):

- масу сухого порожнього пікнометру: $G_1 = 35,0125 \text{ г}$,
- сухого пікнометру з пилом: $G_2 = 38,0095 \text{ г}$,
- пікнометру з пилом і водою, залитою до мітки, після вакуумування:
 $G_{п+р} = 89,8240 \text{ г}$,
- пікнометру без пилу з чистою водою, залитою до мітки: $G_p = 87,9732 \text{ г}$,
- пилу в пікнометрі: $G_{п} = G_2 - G_1 = 38,0095 - 35,0125 = 2,9970 \text{ г}$.

Щільність кварцового пилу обчислюємо за формулою:

$$\rho_{п.к.} = \frac{0,99823 \cdot 2,997}{87,9732 - (89,824 - 2,997)} = 2,612 \text{ г/см}^3$$

Таблиця результатів вимірювань

Визначення уявної щільності пилу пікнометричним методом

Назва пилу:								
Пікнометрична рідина:								
№ досліду	t, °C	ρ_p , г/см ³	Результати зважувань і розрахунків:					
			G_1 , г	G_2 , г	$G_{п+р}$, г	G_p , г	$G_{п}$, г	$\rho_{п.к.}$, г/см ³
1								
2								
Різниця між результатами:								
Середнє значення щільності пилу:								
Очікуване значення щільності для заданого пилу:								

Визначення насипної щільності пилу ваговим методом

Ваговий метод полягає у визначенні маси вимірюного об'єму пилу. Насипну щільність пилу визначають за допомогою найпростішої установки, показаної на рис. 2. Вона складається з алюмінієвого (мірного) циліндра (4) з прийомним кільцем (3), воронки (2), штатива (1) і лінійки (ножа). Воронка і мірний циліндр повинні бути розташовані співвісно. Замість алюмінієвого циліндра може бути використаний мірний циліндр об'ємом 50-100 см³ з діаметром 30-35 мм. Верхня частина циліндра вище шкали обрізана і відшліфована.

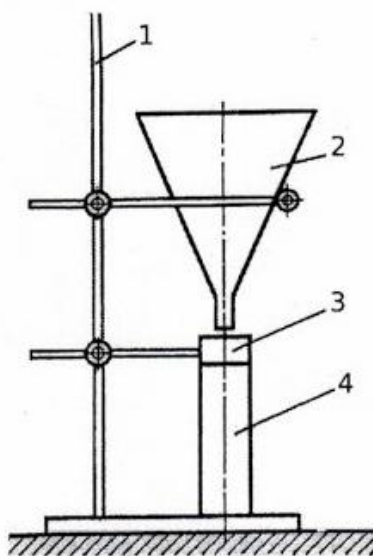


Рис. 2. Установка для вимірювання насипної щільності пилу: 1 - штатив, 2 - воронка, 3 - приймальне кільце, 4 - алюмінієвий циліндр

Спочатку визначають на вагах з точністю до 0.01 г масу сухого, чистого мірного циліндра (G_1 , г) і записують його об'єму (V , см³). Потім через лійку (2) мірний циліндр наповнюють пилом. Зсунувши приймальне кільце (3), ножом видаляють залишки (надлишок) пилу. Зважуванням визначають масу мірного циліндра з пилом (G_2 , г). Насипну щільність пилу (г/см³) обчислюють за формулою:

$$\rho_n = \frac{G_2 - G_1}{V}.$$

За результат приймають середнє арифметичне з 6-7 окремих визначень. Якщо кількість пилу недостатньо для незалежного вимірювання нової проби, тоді після

кожного визначення з'єднують виміряну пробу з рештою пилом, перемішують методом накатки і приготувану нову пробу використовують для повторного визначення. Розбіжність між паралельними визначеннями не повинно перевищувати 3 %.

Таблиця результатів вимірювань
Визначення насипної щільності пилу

№ дослідів	Назва пилу	V, см ³	Зважування:		ρ _{п.к.} , г/см ³	Δ ^a , %
			G ₁ , г	G ₂ , г		
1						
2						
3						
4						
5						
Середнє значення насипної щільності пилу:						
Очікуване значення для щільності пилу:						

Визначення сипучості пилу

Характерною особливістю сипучих матеріалів є рухливість частинок щодо один одного (сипучість) і здатність переміщатися під дією зовнішньої сили. Сипучість залежить від гранулометричного складу матеріалу, його вологості, ступеню ущільнення. Сипучість порошкоподібних матеріалів характеризується непрямыми показниками, серед яких найбільшого поширення набув динамічний кут природного укосу, тобто кут α, утворений між горизонтальною поверхнею і твірною конуса, форму якого приймає пил, що вільно насипають з вузького отвору на плоску поверхню (рис. 3).

У методі насипання з воронки (рис. 3) динамічний кут природного укосу розраховують за формулою:

$$\alpha = \arctan \frac{2H}{d},$$

де H і d - висота і діаметр конуса пилу, мм.

Величина кута природного укосу залежить від сил тертя, що виникають при переміщенні частинок сипучого матеріалу відносно один одного і сил зчеплення між ними. Для пилу зазвичай кут природного укосу $\alpha = 15-45^\circ$. Поряд з динамічним кутом природного укосу розрізняють кут обвалення $\alpha_{\text{об}}$, який характеризує стан

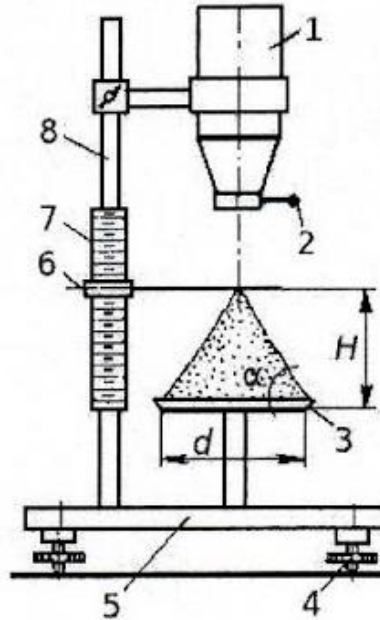


Рис. 3. Визначення кута природного відкосу методом насипання з воронки: α - динамічний кут природного укосу, 1 - бункер, 2 - затвор, 3 - диск, 4 - регулюючі гвинти, 5 - підстава, 6 - пересувний покажчик, 7 - лінійка, 8 - штатив

поверхні укосу, утвореної в результаті сповзання частини сипучого матеріалу. Кут обвалення завжди більше кута природного укосу. Кут обвалення служить важливим параметром при проектуванні транспортних засобів і бункерів для зберігання пилю і поряд з цим застосовується в наукових дослідженнях. У літературі є й інші назви цих параметрів: динамічний кут природного укосу - кут тертя руху, кут насипання; кут обвалення - статичний кут укосу, кут тертя спокою. Експериментально кути природного укосу і обвалення можна визначити наступними методами:

- 1) насипкою з воронки пилю на горизонтальну площину (рис. 3);
- 2) висипанням з ємності пилю при відкритті вікна (рис. 4, а);
- 3) утворенням кратера при витіканні пилю через щілину або отвір (рис. 4, б);

4) обертанням циліндричної ємності (барабана), частково заповненою пилом (рис. 4, с).

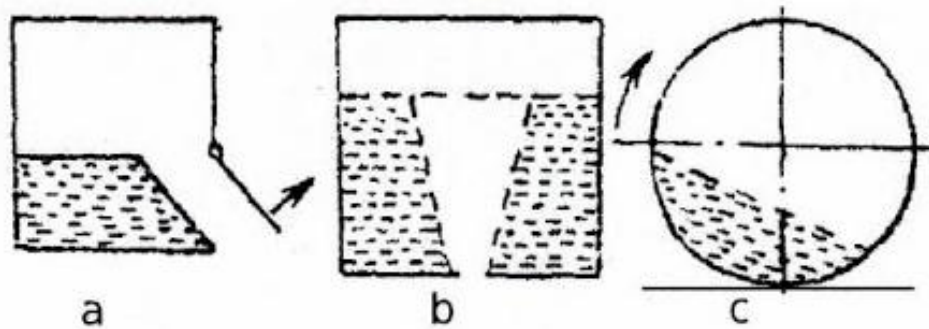


Рис. 4. Методи визначення кутів природного укосу і обвалення: а - висипанням з ємності при відкритті вікна, і - освітою кратера, з - обертанням ємності

Методи 1, 2, 3 дозволяють визначити тільки один кутовий параметр - динамічний кут природного укосу, а метод 4 два -динамічна кут природного укосу і кут обвалення. У даній роботі буде використаний метод 4. Тут в скляну ємність діаметром 30 мм засипається пил об'ємом $\sim 1/4$ від об'єму ємності.

Потім ємність закривається кришкою, кладеться на рівну поверхню столу. Обережно і повільно обертаючи (провертаючи) ємність навколо своєї осі, домагаються утворення максимального кута α вільної поверхні пилу по відношенню до горизонтальної площини столу. Прикладають транспортер з лінійкою до торцевої поверхні ємності, поєднують лінійку з нахилом вільної поверхні пилу і по транспортеру визначають динамічний кут природного укосу α . Можливо визначення кута і без транспортира, вимірявши висоту і довжину підстави. Процедуру вимірювань повторюють 3-4 рази і розраховують середню величину динамічного кута природного укосу.

Лабораторна робота № 4

Визначення ефективності очищення пилу в циклонах

Мета роботи: вивчити на практиці процес очищення газів від різних механічних домішок за допомогою циклону.

Теоретичні положення

Промислова очистка газів від зважених твердих або рідких часток проводиться для зменшення забруднення повітря, вловлювання із газу цінних продуктів або видалення з нього шкідливих домішок, негативно впливаючих на наступні стадії очищення газів, а також механічно руйнуючих апаратуру.

Розрізняють наступні методи очистки газів:

- 1) осадження під дією сил зтягнення (гравітаційне очищення);
- 2) осадження під дією інерційних (відцентрових) сил;
- 3) фільтрування;
- 4) мокра очистка;
- 5) осадження під дією електростатичних сил.

Циклони (рис. 5) призначені для уловлювання із газів частинок розмірами більше 5 мкм. Тип циклону, що забезпечує заданий ступінь уловлювання, вибирається за рис. 6. Тут по осі абсцис відкладено умовний час перебування газу в циклоні

$$\tau_y = D/\omega_r,$$

де D - діаметр циклону, м;

ω_r - швидкість газу, приведена до перетину апарату, м/с.

По осі ординат відкладена величина умовного ступеня очищення газу η_{20} , чисельно рівна масовій частці частинок з розмірами менше 20 мкм в полідисперсному еталонному матеріалі.

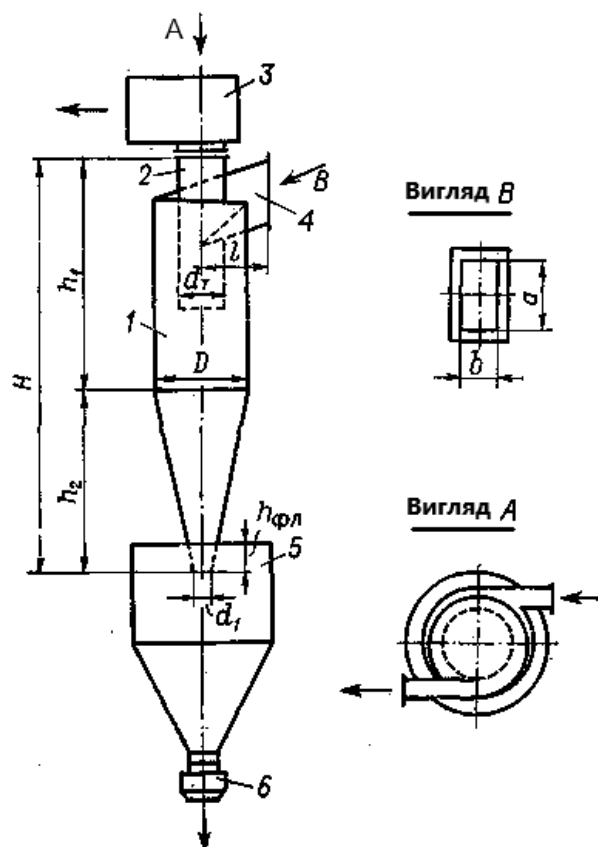


Рис. 5. Схема циклону: 1 - корпус; 2 - вихлопна труба; 3 - равлик; 4 - вхідний патрубок; 5 - приймальний бункер; 6 – засувка

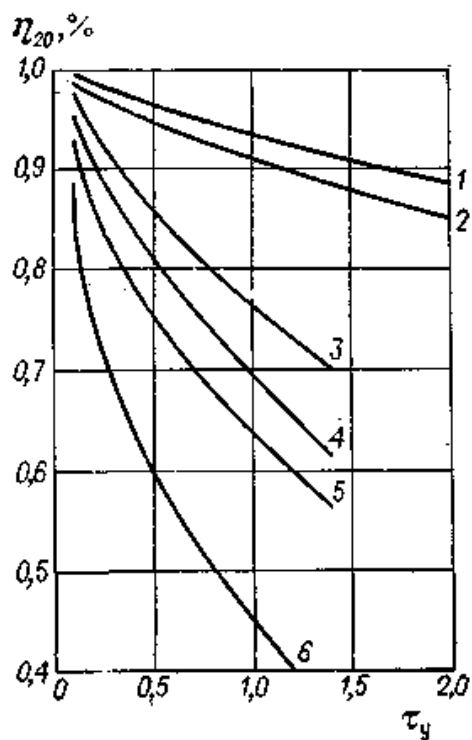


Рис. 6. Залежність η_{20} — τ_y для вибору циклону. Типи циклонів : 1 - СК-ЦН-34; 2 - СДК-ЦН-33; 3 - ЦН-11; 4 - ЦН-15; 5 -ЦН-15у; 6 - ЦН-24.

З рис. 6 витікає, що одна і та ж величина η_{20} може бути отримана в циклонах різних типорозмірів при відповідних значеннях τ_y , тому остаточно тип циклону вибирається згідно до мінімальних зведених витрат, що враховують конструктивні, технологічні і експлуатаційні показники циклонної установки.

Дія циклону заснована на використанні інерційних сил, що утворюються при різкій зміні напрямлення газового потоку, що супроводжується значним зменшенням його швидкості. При цьому частинки пилу, намагаючись зберегти напрям свого початкового руху, видаляються з потоку. Рух частинок пилу в циклоні зумовлено за звичай обертаючим рухом потоку газу до пилозбірника. Тому циклони можна встановлювати не лише вертикально, азе також під нахилом горизонтально.

Ступінь очищення газу в циклоні залежить від розмірів уловлюваних часток, швидкості оберчання газового потоку, від конфігурації основних елемешів і геометричних розмірів циклону.

Прилади та обладнання

- шпатель для засипки пилу;
- аналітичні ваги.

Порядок виконання роботи

Лабораторна установка включає в себе циклон 3, вентилятор 1, форсунки 2 з трубопроводом (рис. 7). З циклону 3 відцентровим вентилятором 1 по трубопроводу відводиться повітря. Пил поступає в трубопровід з форсунки 2, змішуючись з повітрям та утворюючи газопиловий потік. У циклоні 3 повітря очищається від пилу.

В ході лабораторної роботи необхідно зважити на аналітичних вагах задану масу пилу (50-100 г). Засипати пил в форсунку 2, вимірявши час надходження пилу t , с.

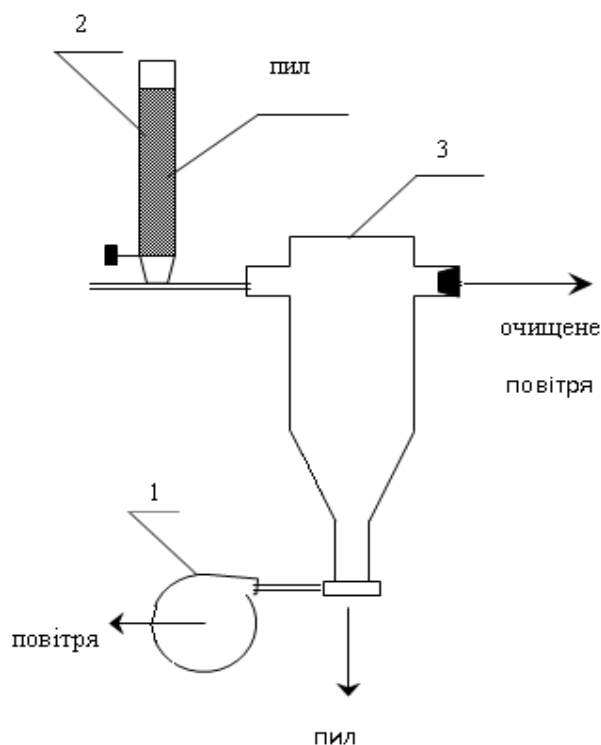


Рис. 7. Схема дослідної установки: 1 – вентилятор; 2 – форсунка; 3 – циклон.

Розмір часток, що складають пилову масу, визначається ситовим аналізом. Результати занести в таблицю 1.

d, мкм						
m, г						
g, %						

В трубці пил захвачується потоком повітря, утворюючи пилогазову систему і попадає у вхідних патрубках циклону 3. Після проведення очищення газу в циклоні бункер пилу знімається та зважується на аналітичних вагах. Маса пилу, що не уловлюється в циклоні та виноситься через вихідний патрубок, розраховується як різниця маси пилу до проведення очищення газу та масою пилу після проведення очищення газу в циклоні. Через розвантажувальний отвір циклону 3 відбирається пил, що був уловлений в циклоні і також зважується на

аналітичних вагах. Зробити ситовий аналіз вловленого пилу та визначити його фракційний вміст. Результати занести в таблицю 2.

d, мкм						
m, г						
g, %						
η_d , %						

Обробка результатів вимірювань

Визначити масову витрату пилу по формулі:

$$G = m/t,$$

де m – виміряна маса пилу, г; t – час надходження пилу в циклон, с.

Знаючи початкову C_1 і кінцеву C_2 концентрацію пилу в газі, виходячи з витрати газу, можна визначити загальну ефективність циклону:

$$\eta = \frac{C_1 - C_2}{C_1}. \quad (1)$$

Початкова C_1 та кінцева C_2 концентрації пилу визначається за формулою:

$$C_1 = \frac{G_1}{V_1}; \quad C_2 = \frac{G_2}{V_1}, \quad (2)$$

де G_1 та G_2 – відповідно витрата пилу, що поступає в циклон, і витрата пилу, що виходить з циклону, г;

V_1 – об'єм повітря, що поступає в циклон, м^3 ($V_1 = 38 \text{ дм}^3/\text{с}$).

Швидкість осадження пилу в циклоні визначається за формулою:

$$v_0 = \frac{d^2(\rho_1 - \rho_2) \cdot v_{\Gamma}}{18 \cdot \mu \cdot D \cdot g}, \quad (3)$$

де d – середній діаметр часток, що осаджуються в циклоні, м;

ρ_1, ρ_2 – відповідно густина пилу та густина газу, $\text{кг}/\text{м}^3$;

μ - вязкість газу, $\text{Па} \cdot \text{с}$;

D – діаметр циклону, м;

v_r – швидкість газу в циклі ($v_r = \frac{v_{bx}}{1,4}$), м/с;

$$v_{bx} = \frac{V_{сек}}{S_{bx}}, \quad (4)$$

де $V_{сек}$ – секундний об'єм газу, що проходить через циклон, м³/с;

S_{bx} – поперечний перетин вхідного патрубку циклону, м².

Порахувати за формулою (1) фракційну ефективність уловлення часток пилу різного діаметру та занести результати розрахунків в таблицю 2.

Висновки: На основі одержаних результатів зробити висновки щодо ефективності уловлення часток пилу різного діаметру за допомогою циклону.

Лабораторна робота № 5

Визначення ефективності очищення пилу в рукавних фільтрах

Мета роботи: вивчити на практиці процес очищення газів від різних механічних домішок за допомогою рукавного фільтра.

Теоретичні положення

Найбільш поширеними є тканинні пиловловлювачі, в яких тканина використовується у вигляді циліндричних мішків-рукавів. Часто такі пиловловлювачі називають рукавними фільтрами.

Рукавні пиловловлювачі за способом введення очищуваного повітря в рукав поділяють на протитічні (з введенням повітря знизу – через бункер для збирання вловленого пилу) і прямотічні (з введенням повітря зверху), а за способом регенерації та формою рукавів – на пиловловлювачі зі струшуванням і

зворотним продуванням та пиловловлювачі тільки з одним зворотним продуванням. Окрему групу становлять пиловловлювачі з імпульсним продуванням стиснутим повітрям. Витрушування пилу переважно здійснюють у вертикальному напрямку, однак є конструкції, де використовуються вібрації та коливні рухи рукавів у горизонтальному напрямку.

На рис. 8 наведена принципова схема рукавного протитічного пиловловлювача.

Протитічний тканинний пиловловлювач складається з розбірного металевого корпусу 5, розділеного декількома вертикальними перегородками. У кожній секції розташовуються циліндричні рукави-фільтри 6 з вельвету, фланелі або сукна. Тканинні фільтри характеризуються високою ефективністю очищеного повітря від пилу (98 % і вище). Розглянемо принцип роботи протитічного тканинного пиловловлювача. Запилене повітря подається

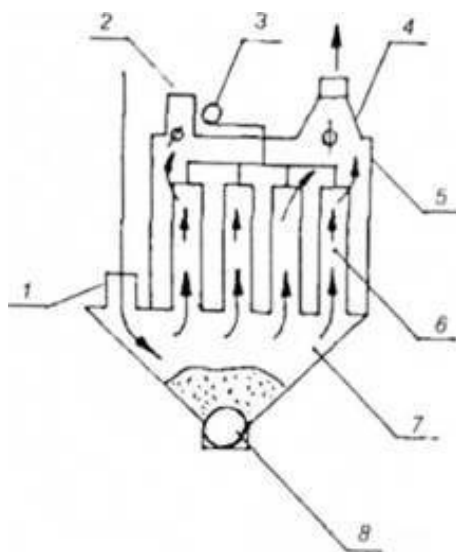


Рис. 8. Принципова схема рукавного протитічного пиловловлювача:

1 – вхідний патрубок; 2 – канал; 3 – витрушувальний механізм; 4 – колектор; 5 – корпус; 6 – рукави; 7 – бункер; 8 – шнек

повітроводом 1 у повітророзподільну коробку бункера 7, а звідти – у рукави 6. Після фільтрації очищене повітря подається у міжрукавний простір, а потім через колектор викидається в атмосферу. Пил осідає на внутрішній поверхні

рукавів, звідки вилучається за допомогою струшувального механізму 3 або продувається потоком повітря від спеціального вентилятора через канал 2. Пил з рукавів потрапляє у бункер 7, звідки за допомогою шнека 8 транспортується за межі циклона.

За останні роки на промислових підприємствах почали часто використовувати рукавні пиловловлювачі з імпульсним продуванням стиснутим повітрям (рис. 9). Принцип роботи таких пиловловлювачів полягає в тому, що запилене повітря через вхідний патрубок потрапляє у простір між рукавами 2, натягнутими на каркаси у вигляді спіральних пружин або кілець. Крупний пил падає вниз, а дрібний осідає на зовнішню поверхню рукавів. Очищене повітря виходить через патрубок 3.

Регенерація пиловловлювача (рис. 9) здійснюється шляхом імпульсної

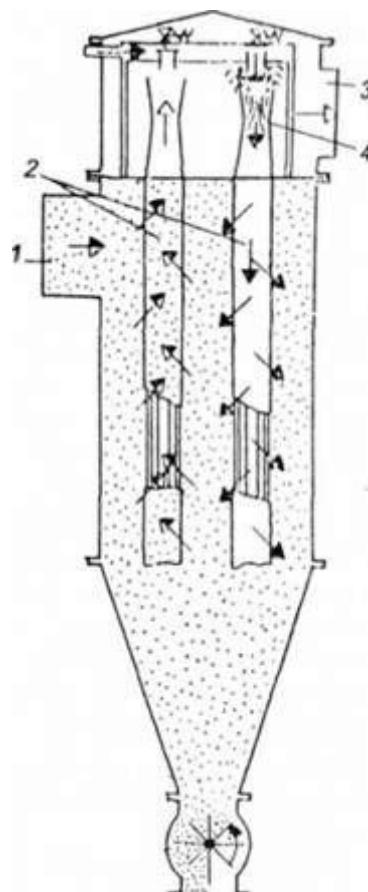


Рис. 9. Схема рукавного пиловловлювача з імпульсним продуванням:

1 – вхідний патрубок; 2 – рукави; 3 – вихідний патрубок; 4 – сопло

подачі струменів стиснутого повітря одночасно в усі рукави або в частину з них, але послідовно. Струмені повітря вдуваються через спеціальні горловини у вигляді сопла 4. Внаслідок цього виникає ударна хвиля, яка руйнує шари пилу, а повітря, що надійшло із зони підвищеного тиску, подається у тканину рукавів. Подавання повітря здійснюється через електромагнітні клапани з автоматичним керуванням. Тиск продувного повітря повинен становити 400-600 кПа, витрата повітря – 0,1-0,2 % об'єму очищуваного повітря, тривалість кожного імпульсного продування – 6-10 с. Регенерація тканини пиловловлювача повинна здійснюватися через кожні 200-600 с.

Прилади та обладнання

- шпатель для засипки пилу;
- аналітичні ваги.

Порядок виконання роботи

Лабораторна установка включає в себе рукавний фільтр 3, вентилятор 1, форсунку 2 з трубопроводом (рис. 10).

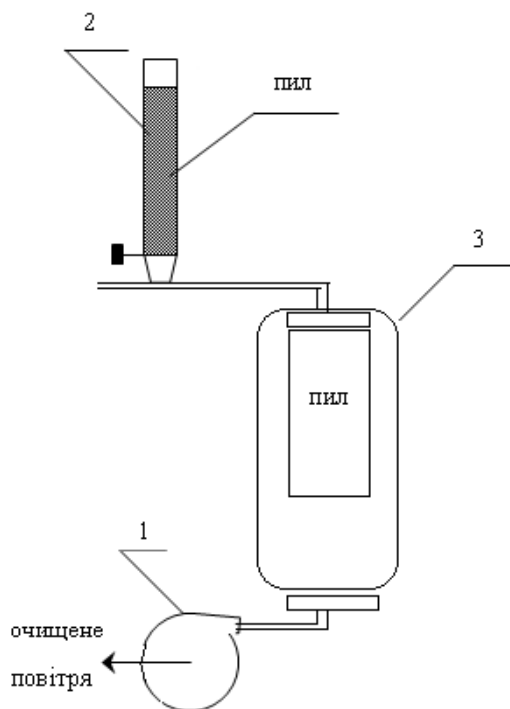


Рис. 10. Схема дослідної установки: 1 – вентилятор; 2 – форсунка; 3 – рукавний фільтр.

З рукавного фільтру 3 вентилятором 1 по трубопроводу відводиться повітря. Пил поступає в трубопровід з форсунки 2, змішуючись з повітрям та утворюючи газопиловий потік. У рукавному фільтрі 3 повітря очищається від пилу.

В ході лабораторної роботи необхідно зважити на аналітичних вагах задану масу пилу (50-100 г) та мішок-рукав. Засипати пил в форсунку 2, вимірявши час надходження пилу t , с.

В рукавному фільтрі пил затримується на внутрішній поверхні мішка-рукава. Після проведення очищення газу в фільтрі мішок-рукав з вловленим пилом знімається та зважується на аналітичних вагах. Маса пилу, що не уловлюється в фільтрі та виноситься через вихідний патрубок, розраховується як різниця маси пилу до проведення очищення газу та масою пилу після проведення очищення газу в рукавному фільтрі. Результати занести в таблицю 1.

Матеріал мішка-рукава	Маса пилу $m_{\text{пилу}}$, г	Маса мішка- рукава, $m_{\text{рукава}}$, г	Маса вловленого пилу та мішка- рукава, $m_{\text{пилу+рукава}}$, г	Маса вловленого пилу, $m_{\text{вловл. пилу}}$, г	Маса невловленого пилу, г $m_{\text{невловл. пилу}}$, г	Час пропускання газу, t , с
віскоза (штучний матеріал)						
поліестер (синтетичний матеріал)						
льон (натуральний матеріал)						

Обробка результатів вимірювань

Знаючи початкову C_1 і кінцеву C_2 концентрацію пилу в газі, виходячи з витрати газу, можна визначити ефективність рукавного фільтру:

$$\eta = \frac{C_1 - C_2}{C_1} . \quad (1)$$

Початкова C_1 та кінцеву C_2 концентрації пилу визначається за формулою:

$$C_1 = \frac{G_1}{V_1}; \quad C_2 = \frac{G_2}{V_1}, \quad (2)$$

де G_1 та G_2 – відповідно витрата пилу, що поступає в рукавний фільтр, г/с, і витрата пилу, що виходить з рукавного фільтру, г/с; V_1 – об'єм повітря, що поступає в циклон, м³ ($V_1 = 38$ дм³/с).

Коефіцієнт проскоку визначається за формулою:

$$K = 1 - \eta. \quad (3)$$

Порахувати за формулою (1) ефективність уловлення часток пилу η , %, за формулою (2) коефіцієнт проскоку K , %, та занести результати розрахунків в таблицю 2. Порівняти ефективність матеріалів рукавів щодо уловлення пилу.

Матеріал мішка- рукава	віскоза (штучний матеріал)	поліестер (синтетичний матеріал)	льон (натуральний матеріал)
η , %			
K , %			

Висновки: На основі одержаних результатів зробити висновки щодо ефективності уловлення часток пилу при використанні різних матеріалів рукавів.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бекетов В. Є., Євтухова Г. П. Джерела та процеси забруднення атмосфери. Харків : ХНУМГ ім. О. Н. Бекетова, 2019. 113 с.
<https://core.ac.uk/download/pdf/228030186.pdf>
2. Сарапіна М. В. Процеси та апарати пилогазоочищення: курс лекцій. Харків: НУЦЗУ, 2018. 125 с.
3. Крусір Г. В., Мадані М. М., Гаркович О. Л. Техніка та технології очищення газових викидів. Одеса: ОНАХТ-Одеса, 2017. 207 с.
4. Конспект лекцій з дисципліни «Технології очистки та утилізації промислових стоків та викидів» (Частина І) для студентів напряму підготовки 6.051301 - «Хімічна технологія», 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» та 6.051401 - «Промислова біотехнологія», Укладач: Олійник М.А. – Кам'янське: ДДТУ, 2016. - 56 стор.
5. Методы расчета систем комплексной пыле- и газоочистки. Монография / М.И. Шиляев, Е.М. Хромова. М.: Издательство АСВ, 2018. 196 с.
6. Промислові технології та очищення технологічних і вентиляційних викидів: навч. посіб. / Ю. С. Юркевич, О. Т. Возняк, В. М. Желих ; МОНМС України, НУ «Львівська Політехніка». 2012. 120 с.
7. Северин Л. І., Петрук В. Г., Безвозюк І. І., Васильківський І. В. Природоохоронні технології (захист атмосфери) / Ч.І: Навчальний посібник. Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2010.
https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/iebmnd/severin_prirodoohoronni_tehnologii/dop-m.html
8. Ратушняк Г.С., Лялюк О. Г. Засоби очищення газових викидів. Навчальний посібник. Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2008. 207 с.
9. Джигирей В. С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища: навчальний посібник. Київ : Знання, 2007. 422 с.
10. Кузнецов И. Е., Шмат К. И., Кузнецов С. И. Оборудование для санитарной очистки газов. Справочник. Київ: Техніка, 1989. 204 с.

11. Охрана окружающей природной среды. Под ред. Дуганова Г. В. Київ : Вища школа, 1991. 320 с.
12. Кундро Н. В., Давыденко Н. В. Очистка вентвыбросов. <http://elib.psu.by:8080/handle/123456789/3181>
13. Бекетов В. Є. Конспект лекцій із курсу «Прикладна аероекологія». Модуль 1 «Атмосфера. Основні терміни та визначення» (для студентів 2 курсу денної форми навчання за напрямом 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування») / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; В. Є. Бекетов, Г. П. Євтухова, Ю. Л. Коваленко. Х.: ХНАМГ, 2011. 44 с.
14. Бекетов В. Е. Конспект лекцій з розділу «Методи і прилади контролю концентрацій пилогазових домішок в атмосфері і в промислових викидах» з дисципліни «Методи і прилади контролю стану атмосферного повітря» (для студентів 5 курсу денної і 6 курсу заочної форм навчання спеціальності 7.070801 (7.04010601) - «Екологія і охорона навколишнього середовища») / Бекетов В. Е., Євтухова Г. П., Коваленко Ю. Л.; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. Х.: ХНАМГ, 2011. 40 с.
15. Экология города. Под ред. Ф.В. Стольберга. - К. : Либра, - 2000. - 464 с.
16. КД 52.9.4.01–09. Методичні вказівки щодо прогнозування метеорологічних умов формування рівнів забруднення повітря в містах України. Київ: Державна гідрометеорологічна служба, 2010. 78 с.
17. Рижков С. С. Апараты для очищення повітря від забруднень : метод. вказівки / С. С. Рижков, Ю. М. Харитонов, В. В. Благодатний. - Миколаїв : УДМТУ, 2002. - 36 с.

ЗМІСТ

Передмова	4
Лабораторна робота №1	
Визначення кількості пилу у повітрі	5
Лабораторна робота №2	
Визначення радіоактивності пилу в повітрі	7
Лабораторна робота №3	
Визначення фізичних властивостей промислового пилу	11
Лабораторна робота №4	
Визначення ефективності очищення пилу в циклонах	22
Лабораторна робота №5	
Визначення ефективності очищення пилу в рукавних фільтрах	27
Список рекомендованої літератури	33