

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської та

аспірантської підготовки

Кафедра загальної та теоретичної фізики

Магістерська кваліфікаційна робота

на тему: «ТЕХНОЛОГІЇ ТОНКОЇ ОЧИСТКИ ВІД ОРГАНІЧНОГО ПИЛУ НА
ОСНОВІ ЛЕВІТАЦІЙНО-ЕЛЕКТРОФОРЕТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ»

Виконала студентка 2 курсу групи МТЗ-2
спеціальності 183 «Технології захисту
навколишнього середовища»

Кокош Данісла Вікторівна

Керівник д.ф.-м. н., професор

Герасимов Олег Іванович

Рецензент д.ф.-м.н. професор

Ковальчук В.В.

Одеса 2018

МІНІСТРЕСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської та аспірантської підготовки

Кафедра загальної та теоретичної фізики

Рівень вищої освіти магістр

Спеціальність 183 Технології захисту навколишнього середовища

(шифр і назва)

(наказ № 271-С, від 05.10.2018)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри загальної та
теоретичної фізики Герасимов О. І.

“ 29 ” 10 2018 р

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТА

Кокош Данієла Вікторівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: *Технології тонкої очистки від органічного пилу на основі левітаційно-електрофоретичних процесів*

керівник роботи д.ф-м.н, проф. Герасимов Олег Іванович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “_05_” жовтня

2018 року №_271-С

2. Срок подання студентом роботи 10 грудня 2018 р.

3. Вихідні дані до роботи

Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Описання основних вирішень проблем вилучення пилових конгломерацій за допомогою зовнішнього маніпулюємого електричного поля (тонка пилоочистка).
2. Схема левітаційно-електрофоретичної моделі.
3. Застосування її у технологіях вилучення мікро-механічних забруднень.
4. Надання порівняльного аналізу існуючих моделей тонкої очистки.

4. Перелік графічного матеріалу (з точним значенням обов'язкових креслень)

Рис. 2.1. - Електрофільтр : 1 - осаджуючий електрод; 2 - коронуючий електрод; 3 - рама; 4 – високовольтний ізолятор; 5 - струшуючий пристрій; 6 – верхня камера; 7 - збірник пилу. Рис. 2.2. - Конструктивна схема електродів: а - електрофільтр з трубчастими електродами; б - електрофільтр з пластинчастими електродами; 1 - коронуючі електроди; 2 - осаджувальні електроди. Рис. 3.1 - Левітація у електричному полі. Рис. 4.1. Схеми електродів газоочистки. Таблиця 4.1 - Співвідношення заряду частинок від часу зарядки. Рис 4.2 - Схематичне відображення руху гранульованого струму в неоднорідному електричному полі. Рис 5.1. Фільтри: а - електричний; б - ультразвуковий; 1 - ізолятор; 2 - стінки фільтра; 3 - коронуючий електрод; 4 - заземлення; 5 - генератор ультразвуку; 6 – циклон. Рис 5.2. Схема двухзонного електрофільтру: 1 - незаряджена частинка пилу на вході в електрофільтр; 2 - коронуючі електроди; 3 - заряджена частинка пилу на вході в зону осадження; 4-заземлення осаджувальних електродів; 5 - високовольтні електроди; 6 - джерело високої напруги; I - зона зарядки; II - зона осадження. Рис 5.3. Схема вакуумного централізованого пилоприбирання з горизонтальним магістральним трубопроводом: 1 - стояк пиловидалення; 2 - знімна заглушка для прочищення пилопроводів; 3 - з'єднувальний клапан прочищення; 4 - магістральний пилопровід; 5 - пилососна установка; 6 - гнучкий шланг; 7 - пилососний насадок. Рис. 5.4. Схема вакуумного централізованого пилоприбирання з вертикальним магістральним пилопроводом 1 - горизонтальне відгалуження; 2 - з'єднувальний

клапан; 3 -магістральний пилопровід; 4 - знімна заглушка для пилопроводів; 5 -
пилососна установка; А- викид очищеного повітря

Дата видачі завдання 29.10.2018 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів дипломного проекту (магістерської роботи)	Термін виконання етапів роботи	Відмітка про виконання	
			За 4-х бальн ою шкало ю	%
1	Огляд новітніх літературних джерел за темою дипломного проекту	З 1 жовтня 2018		
2	Узагальнення основних теоретичних положень проекту	29.10.2018		
3	Рубіжна атестація	19-24.11.2018		
4	Попередній захист кваліфікаційної роботи	24.12.2018		
5	Перевірка на плагіат	13-14.12.2018		
6	Рецензування	19-20.12.2018		
7	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)			

Магістр _____ **Кокош Д.В.**

Керівник проекту _____ **Герасимов О.І. д. ф-м.н, проф.**

АНОТАЦІЯ

«Технології тонкої очистки від органічного пилу на основі левітаційно-електрофоретичних процесів»

Актуальність теми. Щорічно промислові підприємства викидають близько мільярда тонн пилових частинок і газів в атмосферу планети, тобто приблизно по 0,25 тонн на кожну людину. Серед забруднюючих речовин виділяється пил, особливо органічний, який є найнебезпечнішим для людини. Одним із найпоширеніших видів видалення органічного пилу є технології тонкої очистки.

Метою магістерської роботи був аналіз гібридної левітаційно-електрофоретичної моделі, яка базується на прикладанні зовнішнього електричного поля. Опис та надання порівняльної характеристики найпоширеніших моделей тонкої очистки.

Формулювання тонкої пилоочистки, щодо умов описання гібридної (левітаційно-електрофоретичної) моделі та про її переваги та недоліки.

Ключові слова: левітаційно-електрофоретична модель, електрофорез, левітація, пилове очищення

Науковий керівник: д.ф-м. н., професор Герасимов О. І.

Робота містить:

Сторінок - 59

Таблиць – 1

Рисунків - 10

Літературних посилань - 24

SUMMARY

«Technologies of fine purification from organic dust on the basis of levitation-electrophoretic processes»

Relevance of the topic. Every year, industrial enterprises throw about a billion tons of dust particles and gases into the atmosphere of the planet, ie about 0.25 tons per person. Among pollutants, dust is released, especially organic, which is most dangerous to humans. One of the most common types of organic dust removal is the technology of fine purification.

The purpose of the master's thesis was to analyze the hybrid levitation-electrophoretic model dust evacuation, which is based on the application of an external electric field. Description and comparative characterization of the most common fine-purification models. Formulation of conclusions on the conditions for describing a hybrid (levitation-electrophoretic) model and its advantages and disadvantages.

Keywords: levitation-electrophoretic model, electrophoresis, levitation, dust evacuation

Scientific supervisor: Dr. of phys. and math. sc., Prof. Gerasimov O.I.

The work contains:

Pages – 59

Tables – 1

Figures – 10

Literature references - 24

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1.ОГЛЯД.....	10
2.ПОСТАНОВА ЗАДАЧІ	11
2.1 Вирішення проблеми вилучення пилових конгломерацій за допомогою зовнішнього маніпулюемого електричного поля (тонка пилоочистка)	11
2.1.1 Характеристика органічного пилу.....	11
2.1.2 Основні технології тонкої очистки від органічного пилу.....	14
3 ЛЕВІТАЦІЙНО-ЕЛЕКТРОФОРЕТИЧНА МОДЕЛЬ МАНІПУЛЮВАННЯ ПИЛОВИМИ КОНГЛОМЕРАЦІЯМИ.....	22
3.1 Загальний опис моделі	22
3.2 Левітація у електричному полі та умови її здійснення.....	22
3.3 Електрофорез та його використання в технологічних процесах.....	27
4. ТЕХНОЛОГІЇ ВИЛУЧЕННЯ МІКРО-МЕХАНІЧНИХ ЗАБРУДНЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ ЛЕВІТАЦІЙНО-ЕЛЕКТРОФОРЕТИЧНОЇ ПИЛООЧИСТКИ	33
4.1 Шляхи (ситуативні)зниження напруги зовнішнього електричного поля, при яких спостерігається електрофоретичний режим руху конгломерацій, які складаються з крапель рідини або твердих частинок(гранул).....	33
4.2 Ефекти злипання крапель і гранул в електрофоретичному процесі (експеримент).....	42
5 ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МОДЕЛЕЙ ПИЛООЧИСТКИ..	46
ВИСНОВКИ	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	57

ВСТУП

Розвиток та інтенсифікація промисловості призводить до суттєвого забруднення навколишнього середовища. Щорічно антропогенна діяльність призводить до того, що в природні середовища тонами надходять речовини, які або зовсім не властиві природним системам, або мають там бути в малих концентраціях.

Серед забруднюючих речовин особливо виділяється пил. Пил це тверді, дрібні частинки, які певний час знаходяться у повітрі, а потім осідають під дією власної ваги. За той час, поки пилові маси знаходяться в повітрі, вони можуть мігрувати на великі відстані за допомогою вітрового перенесення. Міграція пилових мас призводить до того, що пил є найбільш розповсюдженим забруднювачем навколишнього середовища.

Одним із найбезпечніших видів пилу особливо виділяється органічний пил. Органічний пил - це атмосферні частинки рослинного, тваринного і мікробного походження. Він містить в собі дрібнодисперсні частинки органічних речовин, вірусів, мікроорганізмів, тощо. Він надходить у повітря в процесі шліфування й полірування виробів. Органічний пил виділяється при ручному завантаженні сушильних камер. Такий тип пилу є найшкідливішим для людини. Вдихання такого пилу не тільки спричиняє хвороби пов'язані з подразненнями, але і сприяє розвитку хвороб викликаних мікроорганізмами. Органічний пил, який потрапив в людський організм формує середовище, яке сприятливе для життя та розвитку хвороботворних мікроорганізмів та вірусів. На даний час в епідеміологічних дослідженнях і історіях хвороб, що включають описи захворювання, з'являється все більше свідчень системного впливу видів органічного пилу. Основними симптомами є лихоманка, болі в суглобах, ураження шкірного покриву, кишечника, підвищена стомлюваність і головний біль.

Очищення повітря від пилу підрозділяється на грубу, середню і тонку.

До основних технологій тонкої очистки від органічного пилу, які відбуваються за допомогою зовнішнього маніпулюємо електричного поля (під дією електричних сил), відносяться: електричні пиловловлювачі та електрофільтри.

Але використання таких технологій потребує великих електричних затрат, які складають десятки та тисячі вольт. Тому в даній роботі досліджується шляхи зниження робочих енергетичних напруг на основі левітаційно-електрофоретичної моделі.

1 ОГЛЯД

Проблема накопичення пилу набула широкого масштабу та на сьогоднішній день є актуальною та потребує нових технологічних рішень, щодо захисту навколишнього середовища. Одним із найпоширеніших видів пилу є органічний, який найнебезпечніший.

Метою дослідження є теоретичний розгляд гібридної левітаційно-електрофоретичної моделі, яка базується на прикладанні зовнішнього електричного поля. Частинки пилової конгломерації можуть бути потенційно заряджені, і тому пропонується розглядати два механізми (електрофоретичну і діелектрофоретичну). В даній роботі ми зосередимося на вивченні саме електрофоретичного процесу.

2 ПОСТАНОВА ЗАДАЧІ

У роботі представлена модель на основі явищ левітації та електрофоретичного руху, яка описує механічне виведення пилу із визначеного об'єма. Такі умови створюються за допомогою зовнішнього електричного поля. Критерії генерації явища левітації є специфічним, але добре відомими.

Нажаль прикладення зовнішнього електричного поля (як правило неоднорідного) вимагає достатньо великих електричних затрат. А саме, типові напруги, які водночас відповідають критеріям левітації та електрофоретичного руху в звичайних лабораторних умовах складають десятки, тисячі вольт. Технології тонкої очистки, таким чином, наочно вимагають пошук шляхів зниженої робочої напруги із утриманням вище описаних умов гібридної (левітаційно-електрофоретичної) моделі. Можливими шляхами оптимізації визначеної технології є маніпулювання внутрішніми параметрами системи (топологією частинок та електродів, забезпечення атмосферних умов, зокрема вологості, та деякі інші). Задача роботи полягає в розробці теоретичної моделі маніпулювання пиловими конгломератами із урахуванням вище визначених вимог.

2.1 ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ВИЛУЧЕННЯ ПИЛОВИХ КОНГЛОМЕРАЦІЙ ЗА ДОПОМОГОЮ ЗОВНІШНЬОГО МАНІПУЛЮЄМОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ (ТОНКА ПИЛООЧИСТКА)

2.1.1 Характеристика та накопичення органічного пилу

Оптимальні для життя і діяльності людини умови навколишнього середовища (і її найважливішого компонента - атмосферного повітря) знаходяться в певних, досить вузьких межах. Збільшення або зменшення меж

означає якісна зміна умов життя людини. Промислове виробництво та інші види господарської діяльності людей супроводжуються виділенням в повітря приміщень і в атмосферне повітря різних речовин, що забруднюють повітряне середовище [1].

Щороку у повітря надходять аерозольні частинки (пил, дим, туман), гази, пари, а також мікроорганізми і радіоактивні речовини.

Значення атмосферного повітря для людини та інших живих організмів важко переоцінити. Найбільші глобальні екологічні проблеми сучасності пов'язані саме з антропогенним забрудненням атмосфери.

Надходження в повітряне середовище виробничих приміщень і викид в атмосферу парів, газів, аерозолів та інших шкідливих речовин - прямий результат недосконалості технологічного і транспортного устаткування, в першу чергу, його негерметичність, а також відсутності або недостатньої ефективності пилоуловлюючих і пристроїв та систем.

Якість повітря, його вплив на організм, а також обладнання та технологічні процеси багато в чому обумовлені вмістом в ньому зважених частинок, головним чином пилових.

Проблема накопичення пилу в житлових приміщеннях набула катастрофічного масштабу. Пил має добру проникну здатність. Розміри пилових частинок настільки малі, що це дозволяє їм проникати до приміщень навіть через сучасні, відносно непроникні, вікна та двері. Жителі великих індустріальних міст потерпають від накопичення в повітрі великої кількості пилу не тільки на вулиці, а в своєму житлі. Велика кількість транспортних засобів, промислових підприємств, масштабні будівництва тільки поглиблюють проблему пилоутворення. Але, те, що більшість цих факторів відсутня в сільській місцевості не значить, що мешканці менших населених пунктів захищені від пилу. Сільська місцевість є «багатою» на той самий пил [2].

Відносно однакового складу пилу в різних частинах планети зумовлений активним перенесенням пилових мас повітряним шляхом. Пил в своєму складі

містить велику кількість дрібнодисперсних твердих частинок, різних за своїм хімічним складом та походженням. Склад побутового пилу не надто відрізняється від будь-якого іншого. Єдиною різницею може бути більший вміст органічного пилу.

Пил являє собою аерозоль, тобто дисперсну систему, в якій дисперсною фазою є тверді частинки, а дисперсійним середовищем - повітря. Пил - це фізичний стан твердої речовини. Специфічною особливістю пилоподібного стану є роздробленість речовини на найдрібніші частинки і, надзвичайно велика поверхня твердих частинок, у зв'язку, з чим властивості пилу здобувають самостійне значення. Джерела пилу можуть бути як природного походження (вивітріння гірських порід, виверження вулкана), так і індустріального (викиди промислових підприємств). Фізичні, фізико-хімічні та хімічні властивості пилу багато в чому визначають характер її токсичної, подразнюючої та фіброгенної дії на організм людини. Пил заподіює шкоди організму в результаті механічної дії (пошкодження органів дихання гострими крайками пилу), хімічного (отруєння отруйним пилом), бактеріологічного (разом з пилом в організм проникають хвороботворні мікроорганізми). На думку гігієністів пилові частинки розміром 5 мкм і менше здатні глибоко проникати в легені аж до альвеол. Порошинки розміром 5 - 10 мкм в основному затримуються у верхніх дихальних шляхах, майже не проникаючи в легені. Пил надає шкідливий вплив на органи дихання, зір, шкіру, а при проникненні в організм людини - також на травний тракт [3].

Основну роль в характері загальнотоксичної та специфічної дії пилу грають не тільки її концентрація в повітрі робочої зони або атмосферному повітрі, але й щільність і форма частинок пилу, її адсорбційні властивості, розчинність частинок пилу.

Існують класифікації, засновані на складі речовини пилинок. Пил, що знаходиться в дисперсній фазі, можна розділити на: органічний, неорганічний та змішаний.

Органічний пил це атмосферні часточки рослинного, тваринного і мікробного походження. До органічного пилу відносяться, наприклад: деревна, бавовняна, мікроорганізми та інші. Міська пил містить близько 37% органічних речовин, що складаються з сажі і смол [2].

Він надходить у повітря в процесі шліфування й полірування виробів. Також органічний пил виділяється при ручному завантаженні сушильних камер. Органічний пил, осідаючи в приміщеннях, розкладається і виділяє при цьому неприємні запахи. При відкладенні органічного пилу на гарячих поверхнях, що мають температуру вище 80 С, він піддається сухій сублимації, при якій повітря забруднюється окисом вуглецю [1].

Розвиток сучасної епідеміології допоміг дослідити достовірні данні по захворюваності пов'язані з вдиханням органічного пилу. Вдихання органічного пилу викликає велику кількість захворювань дихальних органів та легенів. Цей тип пилу є найшкідливішим для людини. Основний шлях надходження органічної пилу в організм – інгаляційний.

Органічний пил може викликати безліч захворювань. Проникаючи в організм людини цей тип пилу відразу викликає реакції направленні на розвиток хворобливого стану [4].

2.1.2 Основні технології тонкої очистки від органічного пилу на основі зовнішнього електричного поля

Під електричним очищенням газу розуміють процес, при якому тверді частинки віддаляються з газоподібного середовища під впливом електричних сил. Фундаментальною відзнакою процесу електростатичного осадження від механічних методів сепарації частинок є те, що в цьому випадку беруть в облогу силу, яка діє безпосередньо на частинки, а не створюється під впливом потоку газу в цілому. Це пряме і надзвичайно ефективне використання силового впливу і пояснює такі характерні риси

електростатичного методу, як помірне споживання енергії і малий опір потоку газу [3].

Суть процесу електростатичного очищення пилових конгломерацій ґрунтується на іонізації газу, тобто розщепленні його молекул на позитивно і негативно заряджені іони. Процес ловлення пилу в електричному полі складається з таких підпроцесів: зарядження завислих у газі частинок; руху заряджених частинок до електродів; осадження частинок на електродах і видалення частинок з електродів. Очищення газів і повітря під дією електричних сил – один з найбільш досконалих методів уловлення пилу.

Очищення повітря від пилу підрозділяється на грубу, середню і тонку. При грубому очищенні затримуються частинки пилу розміром понад 100 мк, при середній - до 100 мк (при кінцевому змісті пилу в повітрі 100 мг/м³). Тонка очистка забезпечує кінцевий вміст пилу в повітрі 1-2 мг/м³.

До основних технологій тонкої очистки, які відбуваються за допомогою зовнішнього маніпулюємо електричного поля, відносяться: електричні пиловловлювачі та електрофільтри [5].

Для очищення повітря від дрібних забруднюючих частинок (тонка очистка) були розроблені так звані електрофільтри, у яких використовується сила електростатичного притягіння забруднюючих частинок до корпусу фільтра. Вони призначені для вловлювання пилу крупністю до 0,1 мкм з повітря і газів різного хімічного складу, вологості і температури. Електрофільтри характеризуються великою продуктивністю і ефективністю вловлювання пилу до 99 %. Їх рекомендується застосовувати при необхідності ретельного очищення великого обсягу газів, що містять тонкодисперсний пил з токсичних або дорогоцінних речовин, а також для очищення повітря вентиляційних установок [4].

Загальний вигляд електрофільтра наведено на рис. 2.1.

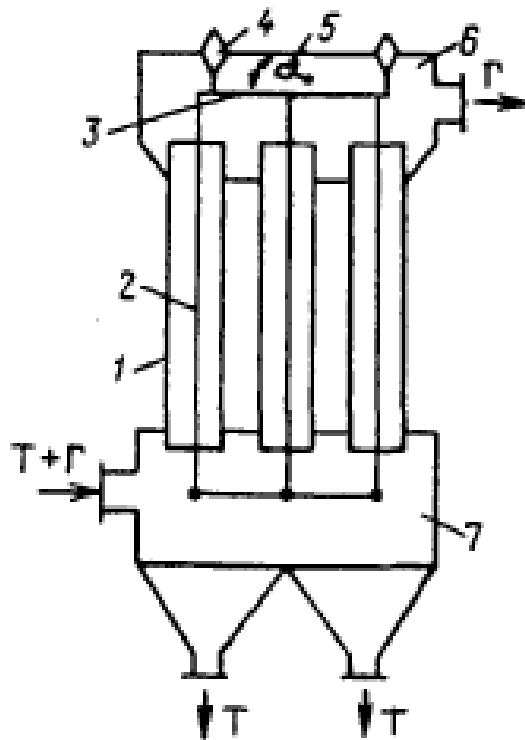


Рис. 2.1. - Електрофільтр:

1 - осаджуючий електрод; 2 - коронуючий електрод; 3 - рама; 4 – високовольтний ізолятор; 5 - струшуючий пристрій; 6 – верхня камера; 7 - збірник пилу.

Очищення газу від пилу в електрофільтрах відбувається під дією електричних сил. В процесі іонізації молекул газів електричним розрядом відбувається заряд містяться в них частинок. Іони абсорбуються на поверхні пилинок, а потім під впливом електричного поля вони переміщуються і осідають до осаджувальних електродів. Електрофільтри категорично забороняється застосовувати, якщо пил володіє вибуховими властивостями: ця група апаратів вимагає постійного кваліфікованого догляду [6].

За конструкцією електрофільтри аналогічні до електричних сепараторів з коронувальними електродами. Осаджувальні електроди електрофільтрів виконуються у вигляді заземлених металічних вертикальних труб або пластин, а коронувальні — у вигляді металічних стержнів, що установлюються всередині труб або між пластинами. Коронувальні і

осаджувальні електроди монтуються в герметичних камерах, через яку, в проміжках між електродами знизу угору проходить газопилова суміш.

Частина електрофільтру, в якій розміщені електроди, називають активною зоною (рідше - активним об'ємом). Залежно від числа активних зон відомі електрофільтри однозонні і двозонні. У однозонних електрофільтрах коронуючі і осаджувальні електроди в просторовому відношенні, конструктивно не розділені. В двозонних електрофільтрах є чіткий поділ. Для санітарної очистки запилених викидів використовують однозонну конструкцію з розміщенням коронуючих та осаджувальних електродів в одному робочому обсязі. Двозонні електрофільтри з роздільними зонами для іонізації і осадження зважених часток застосовують в основному при очищенні припливного повітря. Пов'язано це з тим, що в іонізованій зоні відбувається виділення озону, надходження якого не допускається в повітря, що подається в приміщення [7].

Залежно від напрямку руху газу електрофільтри поділяють на горизонтальні і вертикальні. Вертикальні апарати займають в плані значно менше місця, але за інших рівних умов коефіцієнти очищення в них нижче. Активна довжина поля вертикального електрофільтру збігається з активною висотою його електродів.

Конструктивно електрофільтри можуть бути з корпусом прямокутної або циліндричної форми. Всередині корпусів змонтовані осаджувальні і коронуючі електроди, а також механізми струшування електродів, ізоляторні вузли, газорозподільні пристрої.

У міру осадження пилу на електродах знижується ефективність пиловловлення. Щоб уникнути цього явища і підтримки оптимальної ефективності електрофільтрів електроди періодично очищають від пилу струшуванням або промиванням. Відповідно електрофільтри поділяються на сухі і мокрі [8].

До мокрих відносять апарати, що вловлюють рідкі або значно зволожені тверді частинки, а також електрофільтри, електроди яких

очищаються самопливом (конденсатом уловленого рідкого аерозолію) або за допомогою змивки осілих частинок рідиною. В мокрих електрофільтрах для видалення пилу, використовують необхідну кількість рідини для промивання електродів. Всі мокрі електрофільтри, що знайшли застосування в промисловості, мають вертикальну компоновку [6].

В сухих електрофільтрах для видалення осажденного пилу використовують вібраційні, магніто-імпульсні, ударно-молоткові та ударно-пружинні системи струшування. До сухих відносять електрофільтри, що вловлюють сухі тверді частинки, які видаляються з електродів за допомогою струшування через певні проміжки часу. Сухі апарати можуть бути як вертикальними, так і горизонтальними. Переважне застосування серед сухих електрофільтрів мають апарати з горизонтальним ходом газу - горизонтальні багатопільні апарати, в яких очищений газ проходить послідовно через кілька електричних полів [7].

Залежно від форми осаджувальних електродів також такі відомі електрофільтри, як трубчасті і пластинчасті (рис. 2.2). Трубчасті електрофільтри складаються з великого числа елементів, що мають круглий розтин. По осі трубчастого елемента розташований коронуєчий електрод. У пластинчастому електрофільтрі є велика кількість паралельних пластин. Між ними знаходяться натягнуті коронуєчі електроди.

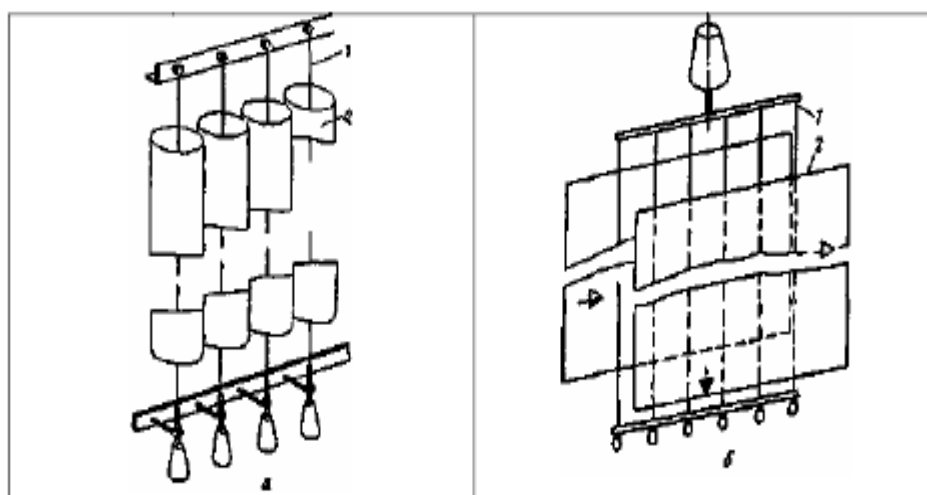


Рис. 2.2. - Конструктивна схема електродів:

а - електрофільтр з трубчастими електродами;

б - електрофільтр з пластинчастими електродами;

1 - коронуючі електроди; 2 - осаджувальні електроди.

Форми осаджувальних і коронуючих електродів можуть бути найрізноманітнішими. Коронуючі електроди можуть набиратися з тонких, круглих або товстих шестигранних стрижнів, сталевих пилкоподібних смуг, профільованих стрічок з голчастою виштамповкою. Іноді застосуються інші форми. Осаджувальні електроди сухих фільтрів виконуються у вигляді профільованих пластин, жолобів, рідше - коробок з круглими або складними вирізами для кращого утримання пилу від вторинного виносу [9].

Конструктивно трубчастий електрофільтр виконується у вигляді вертикальної камери, у якій встановлені пакети осаджувальних електродів з формою круглих або шестигранних труб. Коронувальні електроди вгорі прикріплені до рами, підвищеної на електричних ізоляторах, а внизу пов'язані зі спільною рамою.

Запилений газ входить у фільтр через нижній вхідний газохід. Очищений газ видаляється через верхній газохід, а пил збирається в нижній частині електрофільтра і періодично видаляється через отвір.

У пластинчастому електрофільтрі осаджувальні електроди виконані у вигляді паралельних гладких металевих листів або натягнутих на рамі сіток, між якими підвішені коронуючі електроди у вигляді дротів. Для очищення гарячих газів використовують осаджувальні електроди, у формі хвилястих листів або прутків з метою уникнення жолоблення [6].

Існують вертикальні пластинчасті електрофільтри (з рухом газів знизу вгору) і горизонтальні (з горизонтальним ходом газів). Для покращення очищення газів застосовують багатосекційні електрофільтри із послідовним сполученням секцій.

Для ловлення вугільного та іншого вибухонебезпечного пилу використовують вертикальні пластинчаті електрофільтри типу ДВП (димово вертикально пластинчаті). Особливість цих апаратів — наявність відкритої в атмосферу шахти, яка дозволяє запобігти руйнуванню корпусу при вибухах пилу [8].

Очищення газів від волого тонкодисперсного пилу та туману здійснюється на мокрих електрофільтрах. В мокрих електрофільтрах очищують гази, з яких можлива конденсація вологи при їх охолодженні до точки роси. Промивання електродів в мокрих електрофільтрах може проводитися періодично або безперервно. Для періодичного промивання подають велику кількість води або іншу промивну рідину на електроди (в активну зону) при відключеному напрузі. На час промивки секції подачу газу припиняють. Труби мокрих електрофільтрів можуть виготовлятися із свинцю (фільтри для уловлювання сірчаноокислотного туману) або з графіту або феросиліду (фільтри для очищення газів, що утворюються при випарюванні сірчаної кислоти). Коронуючі електроди виготовляються із свинцевого дроту, що має круглий або зіркоподібний переріз. Вологий пил, що осідає на електродах періодично змивається з них. У мокрих електрофільтрах проблема вторинного виносу несуттєва, тому електроди виконуються у вигляді наборів прутків і гладких пластин, що дозволяє легко змивати осад [10].

Електроди сухих фільтрів струшуються зіткненням або за допомогою спеціальних ударно-молоткових механізмів. Зіткнення застосовують в основному для струшування коробчатих електродів. Решта типів коронуючих і осаджувальних електродів струшують ударами обертових молоткових механізмів по ковадлах, прикріпленим до цих електродів.

Перетікання неочищеного газу повз активної зони навіть у невеликій кількості може помітно погіршити ступінь очищення. У горизонтальних фільтрах неактивні зони розташовані над і під електродною системою (включаючи бункера), а також в проміжках між крайніми осідаючими

електродами і корпусом. У вертикальних пластинчастих фільтрах неактивні проміжки між осідаючими електродами і корпусом. У вертикальних трубчастих апаратах неактивні зони можна усунути повністю [9].

Електричні пиловловлювачі широко застосовуються для очищення повітря від дуже дрібних частинок пилу розміром 0,01 мкм і менше. Вони поділяються на одноступеневі і двоступеневі, живляться постійним струмом високої напруги 60—100 кВ. Основними силами, що зумовлюють рух частинок пилу до осаджувального електрода такого пиловловлювача, є аеродинамічні сили, сили тяжіння та сили тиску електричного "вітру".

Ефективність роботи електричного пиловловлювача залежить від характеристик повітря, очищеного і затриманого пилу, електричних властивостей пиловловлювача, рівномірності розподілу і швидкості руху газу в електричному полі. В електричних пилоуловлювачах частинки пилу, що містяться в повітрі, отримують заряд і осідають на осаджувальних електродах. Процеси ці відбуваються в електричному полі, сформованому двома електродами з різними зарядами. Придбання електричного заряду частинок пилу в електричному пиловловлювачі викликано їх бомбардуванням іонами під впливом електричного поля - пилові частинки, розмір яких перевищує 1 мкм, а також тим, що з ними стикаються іони (броунівський - тепловий рух молекул) - пилові частинки менше 1 мкм. Граничний заряд частинок, розмір яких більше 1 мкм, пропорційний напруженості створеного електричного поля і значенням квадрата радіуса пилових частинок [11].

3 ЛЕВІТАЦІЙНО-ЕЛЕКТРОФОРЕТИЧНА МОДЕЛЬ МАНІПУЛЮВАННЯ ПИЛОВИМИ КОНГЛОМЕРАЦІЯМИ

3.1 Загальний опис моделі

У більшості випадках однією з вимог до левітаційно-електрофоретичної моделі (тобто, процес левітації схрещуваний та гібридизований з процесом електрофорезом) є сила тяжіння та сила електричного поля. Саме вони визначають умови левітації пилових частинок в електричному полі.

Процес левітації означає, що пилова конгломерація в електричному полі піднімається над поверхнею і зависає над нею. Процес електрофорезу, який поєднується з процесом левітації, спричиняється за рахунок поляризації частинок руху, наведений диполем запропонованим електричним полем. І таким чином, отримуємо відразу комбінування двох ефектів: левітаційного, тобто підйом пилу та вибудовування електропилової конгломерації, яка витягується із зовнішнього електричного поля та електрофоретичного.

3.2 Левітація у електричному полі та умови її здійснення

Левітація — стійка рівновага об'єкта у гравітаційному полі без безпосереднього контакту з іншими тілами. Левітація пилових конгломерацій визначається балансом сил та істотно залежить від розміру часток.

Зазвичай, для опису умов левітації окремих гранул розглядають лише баланс сили тяжіння mg (саме вона визначає умови левітації пилових частинок) і електростатичної qE [12].

Існує поверхня (рис. 3.1) і на ній зависають частинки на яких діє гравітаційне поле і прикладене неоднорідне електричне поле. Електрод перший – точковий, а інший, це сама заряджена поверхня на якій лежить

пил. На поверхню прикладається електричне поле, яке спричиняє завислий шар речовини (пил), незважаючи на гравітаційне поле. Такому зависанню сприяє умова, коли середнє значення радіуса вектора прагне до постійної величини ($\langle r \rangle = const$). Складаємо рівняння руху частинки пилу:

- для електрофорезу (частка заряджена)

$$m\ddot{\vec{r}} = m\vec{g} + q \cdot \vec{E} + \chi \frac{d\vec{r}}{dt} \quad (3.1)$$

З рівняння (3.1) видно, що на частинку діє сила тяжіння $m\vec{g}$. Так як частинка заряджена, то вона має вигляд $q \cdot E\vec{h}$. Якщо частинка рухається в просторі (в повітрі), то вона відчуває силу тертя. Її важко змодельовати в загальних випадках, але вона пропорційна швидкості $\frac{d\vec{r}}{dt}$ (малі швидкості).

Тому можна додати силу тертя у вигляді коефіцієнта $\chi \frac{d\vec{r}}{dt}$.

Якщо частинка не заряджена, то діє інша сила. Вона пропорційна градієнту від квадрата напруженості. Тому рівняння набуває такий вигляд:

- для діелектрофорезу (частинка не заряджена)

$$m\ddot{\vec{r}} = m\vec{g} + \gamma \cdot \vec{\nabla}(\vec{E}^2) + \chi \frac{d\vec{r}}{dt} \quad (3.2)$$

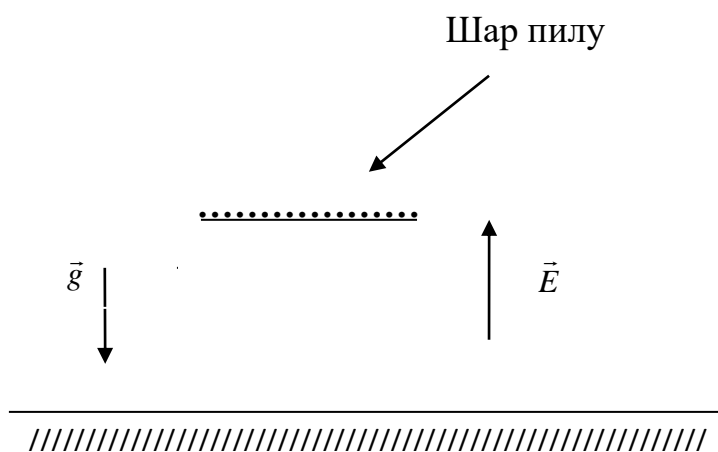


Рис. 3.1. - Левітація у електричному полі

Знаходимо рішення для виразу (3.2):

$$m\ddot{z}_u = mg - |\chi|z_t + \gamma \frac{d}{dz}(E^2) \quad (3.3)$$

$$\ddot{z}_u + |\chi|\dot{z}_t = g + \gamma \frac{d}{dz}(E^2) \quad (3.4)$$

Запишемо рівняння (3.4) у наступному вигляді (тобто промодельємо прикладене зовнішнє поле використовуючи гармонічну функцію у часі):

$$\ddot{z}_u + |\chi|\dot{z}_t = g + F(z)e^{i\omega t} \quad (3.5)$$

$F(z)$ - конфігураційна складова прикладеного зовнішнього поля

$$z = z_0 + z_1 \quad (3.6)$$

Загальний розв'язок (3.5) рівняння є сумою аналітичного розв'язку однорідного рівняння і одного з відомих часткових розв'язків

Аналітичний розв'язок однорідного рівняння знаходиться тривіально:

$$\ddot{z}_u + |\chi|\dot{z}_{0,t} = 0, z_0(t) = Ce^{-|\chi|t} \quad (3.7)$$

Повний розв'язок рівняння знаходимо за функцією:

$$z(t) = C_1 e^{-|\chi|t} + C_2 e^{|\chi|t} \int e^{-|\chi|t} (g + F(z)e^{i\omega t}) dt \quad (3.8)$$

Після елементарних маніпуляцій знаходимо 3.9, 3.10, 3.11, 3.12, 3.13:

$$1) (C_2 \int e^{-|\chi|t} dt) e^{|\chi|t} = -C_2 \frac{1}{\chi^2} e^{-|\chi|t} \quad (3.9)$$

$$2) C_2 e^{|\chi|t} g \left(-\frac{1}{|\chi|} \right) + C_2 e^{|\chi|t} F(z) \int e^{i\omega t - |\chi|t} dt = -\frac{C_2 g}{|\chi|} e^{|\chi|t} \quad (3.10)$$

$$z(t) = C_1 e^{-|\chi|t} + C_2 e^{|\chi|t} \int e^{-|\chi|t} (g + F(z)e^{i\omega t}) dt \quad (3.11)$$

$$\int e^{-|\chi|t} (g + F(z)e^{iwt}) dt = g \int e^{-|\chi|t} dt + F(z) \int e^{-|\chi|t+iwt} dt = \frac{g}{|\chi|} e^{-|\chi|t} + F(z) \int e^{(-|\chi|+iw)t} dt = \frac{g}{|\chi|} e^{-|\chi|t} + F(z) \frac{1}{-|\chi|+iw} e^{(-|\chi|+iw)t} \times C_2 e^{|\chi|t} \left\{ \frac{g}{|\chi|} e^{-|\chi|t} + \frac{F(z)}{-|\chi|+iw} e^{(-|\chi|+iw)t} \right\}$$
(3.12)

$$C_2 \left\{ \frac{g}{|\chi|} + F(z) \frac{e^{iwt}}{-|\chi|+iw} \right\}$$
(3.13)

Розглянемо отримання розв'язоків з метою виділеної дійсної частини комплексних співвідношень, а саме: 3.14, 3.15, 3.16, 3.17:

$$z(t) = C_1 e^{-|\chi|t} + C_2 \left\{ \frac{g}{|\chi|} + F(z) \frac{e^{iwt}}{-|\chi|+iw} \right\}$$
(3.14)

$$C_2 \frac{g}{|\chi|} + C_1 e^{-|\chi|t} + C_2 F(z) \operatorname{Re} \left\{ \frac{e^{iwt}}{-|\chi|+iw} \right\}$$
(3.15)

$$\operatorname{Re} \frac{e^{iwt}}{-|\chi|+iw} = \operatorname{Re} \frac{(\cos wt + i \sin wt)}{(-|\chi|+iw)(-|\chi|-iw)} (-|\chi|-iw)$$
(3.16)

$$\operatorname{Re} \left\{ \frac{(\cos wt + i \sin wt)(-|\chi|-iw)}{|\chi|^2 + w^2} \right\} = -\frac{\cos wt + i \sin wt}{|\chi|^2 + w^2} = \frac{w \sin wt - |\chi| \cos wt}{|\chi|^2 + w^2}$$
(3.17)

Введемо позначення:

$$\sin \varphi = w \quad \cos \varphi = |\chi| \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{w}{|\chi|} \quad \varphi = \operatorname{arctg} \left(\frac{w}{|\chi|} \right)$$
(3.18)

В термінах введених позначень, отримані розв'язки приймають наступний вигляд 3.19, 3.20

$$\frac{\sin \varphi \cos wt - \cos \varphi \sin wt}{|\chi|^2 + w^2} = -\frac{\cos(\varphi + wt)}{|\chi|^2 + w^2} = -\frac{\cos(\operatorname{arctg} \frac{w}{|\chi|} + wt)}{|\chi|^2 + w^2}$$
(3.19)

$$z(t) = C_2 \frac{g}{|\chi|} + C_1 e^{-|\chi|t} - C_2 F(z) \frac{\cos(\operatorname{arctg} \frac{w}{|\chi|} + wt)}{|\chi|^2 + w^2} \quad (3.20)$$

Отриманий розв'язок 3.20 вказує наявність умов для формування левітуючого шару заряджених частинок у зовнішньому електричному полі: функція $F(z)$, а також фазова функція arctg визначають просторову конфігурацію та топологію левітуючого шару заряджених частинок. Асимптотично ордината (висота левітуючого шару описує спрощеним співвідношенням 3.21:

$$z(t) \left(t \rightarrow \infty \rightarrow C_2 \frac{g}{|\chi|} - C_2 F(z) \right) \frac{\cos \omega t}{|\chi|^2 + \omega^2} \quad (3.21)$$

Одним з методів визначення властивостей та параметрів частинок полягає в тому, що левітація поляризованих частинок здійснюється зовнішнім електричним полем.

Необхідними умовами для левітації є наявність вертикальної сили, що компенсує силу тяжіння, та наявність горизонтальних сил. Коли положення рівноваги левітованої частинки стабільна, то частинка повертається в рівноважне положення після невеликого переходу від рівноваги, і ми можемо говорити про власне збудження частинки. Вимірювання частоти цих коливань забезпечує додаткову інформацію, яка може використовуватися для визначення параметрів системи. Зовнішнє однорідне електричне поле спричиняє поляризацію частинок, внаслідок чого левітована частинка та відштовхувальна частинка є джерелами неоднорідних електричних полів, обумовлених поляризацією [13].

Існує багато методів застосування левітації, один з таких методів являє собою визначення властивостей і параметрів частинок, яка полягає в тому, що левітація поляризованих часток здійснюється зовнішнім електричним полем. Розглянуто два випадки застосування:

- у першому випадку левітація часток у провідному приближенні обумовлена взаємодією дипольного моменту левітаційної частинки, індукованої зовнішнім гомогенним електричним полем, з градієнтом міцності електричного поля, яке вироблена іммобілізованою відбивною частинкою, яка також поляризована зовнішнім електричним полем. Поведінка сил, що діють на частинку, визначається різницею між електродинамічними параметрами частинки і середовища приймача, а також різницею електродинамічних параметрів відгалужувальної сфери та середовища приймача.

- у другому випадку, левітація обумовлена самостійною дією частинки, за допомогою чого самодіяння залежить від характеру поляризації інтерфейсу між двома середовищами. Напрямок сили визначається різницею між електродинамічними параметрами середовища, де знаходиться частинка, та електродинамічними параметрами сусіднього середовища.

Використовуючи цей підхід, можна дослідити динаміку незаряджених частинок, поляризованих зовнішнім електричним полем. За допомогою двох розглянутих випадків левітації частинок, можна надати аналітичний аналіз, який надає прості формули для параметрів коливань частинок. Хоча залежність частоти коливань від амплітуди зовнішнього електричного поля в обох випадках однакова, фізичні механізми, що відповідають за левітацію частинок за допомогою іммобілізованої частинки та левітації частинок поблизу інтерфейсу між двома середовищами з різними діелектричної проникністю і провідністю, абсолютно різні [14].

3.3 Електрофорез та його використання в технологічних процесах

Електрофорез — рух дисперсних твердих частинок, рідинних крапель або газових пухирців, іонів тощо завислих в рідинному або газоподібному середовищі в електричному полі постійного струму під дією

електрокінетичних сил, що виникають завдяки утворенню подвійного електричного шару на границі розділу фаз.

Взагалом, електрофорез характеризується рухом частинок у зовнішньому електричному полі (частинки пилу заряджені). Це одне з електрокінетичних явищ, на якому базується, наприклад, вловлювання частинок диму та пилу.

Розглянемо основні параметри, що характеризують електричну схему очищення газів (електрофорез) від пилових частинок.

Основний закон взаємодії електричних зарядів - закон Кулона виражається формулою:

$$F = k_1 (q_1 q_2 / r^2) \quad (3.22)$$

де q_1, q_2 - величини взаємодіючих точкових зарядів; r - відстань між ними; k_1 - коефіцієнт пропорційності ($k_1 > 0$).

Коефіцієнт пропорційності k_1 залежить від властивостей середовища. Цей коефіцієнт може бути представлений у вигляді відносини двох коефіцієнтів:

$$k_1 = k / \varepsilon \quad (3.23)$$

де k - коефіцієнт; ε - безрозмірна величина, яка називається відносною діелектричною проникністю середовища. Для вакууму $\varepsilon = 1$.

Закон Кулона може бути виражений також

$$F = k \frac{q_1 q_2}{\varepsilon r^2} \quad (3.24)$$

Коефіцієнт k в системі СІ приймають $k = 1/4 \pi \cdot \varepsilon_0$; тут ε_0 - електрична постійна. Підставами цю величину в формулу (3.24)

$$F = q_1 \cdot q_2 / (4 \pi \varepsilon_0 \varepsilon r^2), \quad (3.25)$$

де $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Кл² / (Нм²).

Для характеристики електричного поля застосовують фізичну величину - напруженість поля E . Напруженістю в будь-якій точці електричного поля

називають силу, з якою це поле діє на одиночний позитивний заряд, поміщений в цю точку.

Якщо є заряд, то на нього діє сила, пропорційна величині прикладеного поля і під дією цієї сили виникає рух, який має вигляд:

$$m\vec{r} = \vec{F} \quad (3.26)$$

де $\vec{F} = q\vec{E}$

m - маса пилу;

\vec{r} - прискорення частинки.

\vec{F} може бути виражена також як :

$$\vec{F} = q\vec{E} \quad (3.27)$$

\vec{F} - закон Кулона електростатичної взаємодії;

За рахунок цього явища і виникає електрофорез.

Коронний розряд виникає при певній напруженості поля. Ця величина називається критичною напруженістю і для негативної полярності електрода може бути визначена за емпіричною формулою:

$$E_{кр} = 3,04 (\beta + 0,0311 \beta / r) 10^6, \quad (3.28)$$

де r - радіус коронуючого електрода, м; β - відношення щільності газу в робочих умовах до щільності газу в стандартних умовах ($t = 200\text{C}$; $p = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$):

$$\beta = \frac{B \pm p_r (273 + 20)}{1,013 \cdot 10^5 (273 + t)} \quad (3.29)$$

Величина заряду q (кА), придбані частинки сферичної форми під впливом електричного поля, розраховують за формулою:

$$q = 3\pi d_q^2 \varepsilon E \quad (3.30)$$

де ε - діелектрична проникність середовища; d_q - діаметр частинки; E - напруженість електричного поля коронного розряду [13].

Якщо частка не заряджена, то вище описане явище має назву діелектрофорез. В основі діелектрофореза лежить явище взаємодії частинок з неоднорідним електричним полем в середовищі.

Діелектрофорез виникає, коли здатність до поляризації речовини піддається дії неоднорідного електричного поля. Якщо поляризовану частку поміщають в однорідне електричне поле, вільні частинки заряду на частинці відокремлюються. Це означає, що індукується електричний диполь. Цей поділ сильно залежить від електричних властивостей частинки і навколишнього середовища. На такий диполь впливають протидіючі сили однакової величини з обох сторін, тому він не відчуває ніякої чистої сили. Інша ситуація виникає, коли зовнішнє електричне поле неоднорідне. В цьому випадку диполь відчуває силу більш високої величини на тій стороні, де інтенсивність поля вище. Якщо діелектрична проникність частинки вище, ніж у диспергованому середовищі, то вона притягується до цієї області. Така поведінка називається позитивним діелектрофорезом.

Так, в змінному електричному полі частинки виявляють різні діелектричні властивості залежно від характеристик цього поля. Переміщення мікрочастинки в неоднорідному електричному полі, викликане взаємодією між вимушеним (індукованим) диполем в зовнішньому електричному полі. Якщо розглядати мікрочастинки (пилова конгломерація) у вигляді диполів, то на кожну частинку, вміщену в електричне поле з напруженістю E , діє сила F . Сумарна сила, яка веде до руху мікрочастинки, буде складатися з окремих електрокінетичних сил. Крім цього, для подібних мікрочастинок характерні особливі властивості, Наприклад подвійний електричний шар, який оточує мікрочастинок і зміщується в зовнішньому електричному полі. Отже, сумарна електрична сила, що діє на частинку з розподіленим зарядом Q в неоднорідному електричному полі E , визначається напруженістю цього поля і може бути розрахована за такою формулою:

$$\vec{F} = Q\vec{E} + \delta q\vec{E}(r_+) - \delta q\vec{E}(r_-) = Q\vec{E} + (m\nabla)\vec{E}, \quad (3.31)$$

де ∇ - векторний набла-оператор;

m – дипольний момент частинки.

Основні труднощі в оцінці сили полягає в обчисленні дипольного моменту для мікроскопічних поляризованих частинок і в зв'язуванні цієї миті з властивостями частинок.

У випадках, коли частинка не має заряду або при частотах поля ω вище 1 кГц (коли електрофоретичні ефекти незначні), права частина рівняння (містить дипольний момент і градієнт електричного поля) значно переважає, і тому усереднену за часом силу можна виразити як:

$$F(\omega) = \operatorname{Re} |m(\omega)| \nabla E^2 / 2E \quad (3.32)$$

Діелектрофоретична сила залежить від розміру частинки, від величини і ступеня неоднорідності прикладеного електричного поля (градієнт амплітуди або фази). Діелектрофоретична сила виникає тільки в разі неоднорідних полів. В інших випадках сила дорівнює нулю [15].

Сили електрофореза або діелектрофореза (особливо при іонізації газів) викликають підвищене перемішування об'єму в околиці поверхні теплообміну. При діелектрофорезі частинки в цілому залишаються нейтральними, але поляризуються і рухаються в неоднорідному електростатичному полі. Рух частинок не залежить від напрямку поля, внаслідок чого для його створення можливе використання змінного струму. Ефект взаємодії часток з полем пропорційний їх обсягом і набагато сильніше проявляється при поділі щодо крупних частинок. Діелектрофорез як спосіб класифікації вимагає високої напруженості електростатичного поля. При індукції електрофорезу зменшеної гравітації напруженість значно менше [16].

За допомогою електрофорезу вдається покривати дрібними частинками поверхню, забезпечуючи глибоке проникнення в поглиблення і пори. Розрізняють два різновиди електрофорезу: катафорез - коли оброблювана

поверхня має негативний електричний заряд (тобто підключена до негативного контакту джерела струму, будучи катодом) і анафорез - коли заряд поверхні позитивний.

Практичне значення електрофореза пов'язано з можливістю його застосування для переміщення, фіксації в певному місці і поділу нанорозмірних частинок, тобто для маніпулювання ними.

Електрофорез знаходить ряд технічних застосувань. Наприклад, при виробництві фарфору з його допомогою звільняють глину від домішок оксидів заліза. Метод заснований на тому, що частинки збовтованої у воді глини заряджаються негативно, тоді як частинки окису заліза позитивними. При пропущенні суспензії крізь електричного струму у анода збирається дуже чиста глина [15].

Електрофорез аерозолів знаходить ряд найважливіших практичних застосувань для очищення газів від зважених в них твердих частинок. В одних випадках така очистка буває необхідна для можливості проведення виробничих процесів (наприклад, очищення SO_2 при контактному отриманні H_2SO_4). Нарешті, електрофорез аерозолів дуже важливий з санітарно-гігієнічної точки зору, так як дозволяє очищати випускаючі на повітря газу від шкідливих відходів виробництва [17].

В наступному розділі роботи буде розглянута можливість застосування явища електрофорезу на основі тонкої пилоочистки.

4. ТЕХНОЛОГІЇ ВИЛУЧЕННЯ МІКРО-МЕХАНІЧНИХ ЗАБРУДНЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ ЛЕВІТАЦІЙНО-ЕЛЕКТРОФОРЕТИЧНОЇ ПИЛООЧИСТКИ

4.1 Шляхи зниження напруги зовнішнього електричного поля, при яких спостерігається електрофоретичне походження руху конгломератів, що складаються з рідких крапель або твердих гранул

Осадження і адгезія частинок в порошковій технології не тільки призводить до погіршення працездатності або продуктивності, але також призводять до серйозної аварії, таких як вибух пилу. Зовнішнє механічне зусилля часто використовується для видалення частинок, що прилипають до стіни, але при використанні електростатичного заряду заряджені частинки можуть бути викликані спонтанним рухом так, що багато хто з них поділяються, видаляються, класифікуються і т. д. [2].

Заряд частинок - перший основний крок процесу електростатичного осадження. Більшість частинок, з якими доводиться мати справу при промисловій газоочистці, самі по собі несуть певний заряд, набутий в процесі їх утворення. Проте, ці заряди занадто малі, щоб забезпечити ефективне осадження. На практиці зарядження частинок досягається пропусканням їх через корону постійного струму між електродами електрофільтру. Можна використовувати як позитивну, так і негативну корону, але для промислової газоочистки кращою негативна корона, через її більшу стабільність та можливість застосування великих робочих значень напруги і струму.

Осадження зважених твердих і рідких частинок в газі, під дією електричного поля, має переваги в порівнянні з іншими способами осадження. Дія електричного поля на заряджену частинку визначається величиною її електричного заряду. При електроосадженні частинкам невеликих розмірів вдається повідомити значний електричний заряд і, завдяки цьому, здійснити процес осадження дуже малих частинок, який

неможливо провести під дією сили тяжіння або відцентрової сили. Принцип електричного очищення повітря (газів) від зважених частинок полягає в їх зарядці з подальшим виділенням із середовища під впливом електричного поля [3].

Фізична сутність електроосадження полягає в тому, що газовий потік, який містить зважені частинки, попередньо іонізують, при цьому, що частинки в газі набувають електричний заряд. Заряд частинок в полі коронного розряду відбувається під впливом електричного поля і внаслідок дифузії іонів. Максимальна величина заряду частинок розміром більше 0,5 мкм пропорційна квадрату діаметра частинок, а частинок розміром менше 0,2 мкм - діаметру частинок. При звичайних умовах більшість молекул газу нейтральна, тобто не несе електричний заряд того чи іншого знака. Внаслідок дії різних фізичних чинників в газі завжди є певна кількість носіїв електричних зарядів. До таких факторів належить сильне нагрівання, радіоактивне випромінювання, тертя, бомбардування газу швидкорухомими електронами або іонами і ін.

Іонізація газу здійснюється двома способами:

- 1) самостійно, при досить високій різниці потенціалів на електродах;
- 2) не самостійно - в результаті впливу випромінювання радіоактивних речовин, рентгенівських променів [18].

У промисловості електроосадження зважених частинок газу проводиться таким чином, що газовий потік прямує всередину трубчастих (або між пластинчастих) позитивних електродів, які заземлюються (рис. 4.1). Усередині трубчастих електродів натягуються тонкі дротяні або стрижневі електроди, які є катодами. Якщо в електричному полі між електродами створити певну напругу, то носії зарядів (іони і електрони), отримують значне прискорення, і при їх зіткненні з молекулами відбувається іонізація останніх. Іонізація полягає в тому, що з орбіти нейтральної молекули вибивається один або кілька зовнішніх електронів. В результаті відбувається

перетворення нейтральної молекули в позитивний іон і в вільні електрони.
Цей процес називається ударною іонізацією.

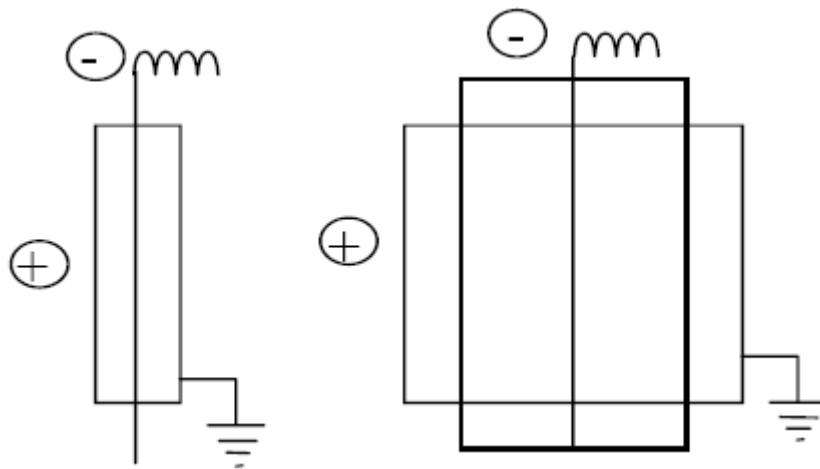


Рис. 4. 1. Схеми електродів газоочистки

При проходженні іонізованого потоку газу в електричному полі між двома електродами, заряджені частинки, під дією електричного поля переміщуються до протилежно заряджених електродів і осідають на них. Частина межелектродного простору, що прилягає до коронуючого електроду, в якій відбувається ударна іонізація, називається коронуючою областю. Інша частина межелектродного простору називається зовнішньої областю. Навколо коронуючого електрода спостерігається блакитнувато-фіолетове світіння (корона). Коронний розряд супроводжується також тихим потрiскуванням. При коронному розряді відбувається виділення озону і оксидів азоту. Також утворюються іони і вільні електрони в результаті ударної іонізації. Таким чином, процес носить лавиноподібний характер. Однак, напруженість електричного поля у міру віддалення від коронуючого електроду вже недостатня для підтримки високих швидкостей, і процес ударної іонізації поступово згасає. Носії електричних зарядів, переміщаючись під дією електричного поля, а також в результаті броунівського руху, стикаються з пиловими частинками, зваженими в

газовому потоці, що проходить через електрофільтр, і передають їм електричний заряд. При іонізації утворюються як позитивні, так і негативні іони: позитивні іони залишаються поблизу «корони» у катода, а негативні направляються з великою швидкістю до анода, зустрічаючи і заряджаючи на своєму шляху зважені в газі частинки [19].

Велика частина зважених часток, що проходять в межелектродному просторі, отримує заряд, протилежний знаку осаджувальних електродів, переміщається до цих електродів і осідає на них. Деяка частина пилових частинок, що знаходяться в сфері дії корони, отримує заряд, протилежний знаку коронуючого електрода, і осідає на цьому електроді. Якщо створити на електродах різниця потенціалів (4 - 6) кВ/см, і забезпечити щільність струму (0,05 - 0,5) мА/м, то запылений газ при пропусценні його між електродами майже повністю звільняється від зважених часток.

Коли використовується паралельний пластинчастий електрод, формується однорідне електричне поле, а в русі плаваючих заряджених частинок переважає електростатичне поле. Коли провідна частинка входить в контакт з електродом, вільні електрони рухаються через контактну частину. Коли він достатньо великий, то електрод плаває і рухається до протиелектрода. Так як частинки, що досягають протиелектрода, заряджаються до тієї ж полярності, що і електрод, знак заряду частинки інвертується і переміщується до вихідного електрода. Тобто частинки періодично повертаються між паралельними пластинчастими електродами. Частинки мають високу електропровідність, тому миттєво завершують зарядку індукції під час контакту з електродом, але потрібен час, щоб викликати електрифікацію в міру збільшення електричного опору. Цикл зворотно-поступального руху також стає довгим. У разі надзвичайно високого електричного опору, індукована зарядка не виникає і потрапляє в зону контактної зарядки. Коли частинки здійснюють зворотно-поступальний рух між паралельними плоскими пластинами, рух кожної з них є незалежним.

Якщо є велика кількість частинок, то співіснують позитивно або негативно заряджені частинки [18].

Для вилучення таких частинок необхідно забезпечити отвір в електроді. Коли верхній електрод замінюється на сітчастий електрод, частинки, заряджені нижнім електродом, можуть проходити через сітку по інерції, і тільки частинки, заряджені на один і той же знак, існують у верхній частині. Оскільки, електростатична сила відштовхування виникає між зарядами одного знака, одно полярні заряджені частинки можуть підтримуватися в диспергованому стані. Однак рух заряджених частинок визначається кулонівською силою, інерцією, опором рідини і гравітацією, а також напруженістю зовнішнього поля, діаметром, формою та щільністю.

Оскільки це залежить від різних фізичних властивостей поверхні, необхідно об'єднати умови для поліпшення керованості руху частинок. Використовуючи електростатичну силу, частинки можуть переміщатися без використання механічної зовнішньої сили або опору рідини так, що можна видаляти частинки у вакуумі і збирати зразки порошку, а також наносити на спеціальні поля [19].

Коли застосовується зовнішнє електричне поле, на додаток до зарядки також відбувається нерівномірний заряд на поверхні частинки. Коли частинка має вільні електрони, вона рухаються так, щоб скасувати різницю потенціалів, що генерується в частці зовнішнім електричним полем. Це називається електростатичною індукцією. Якщо частинки є діелектричними, діелектрична поляризація відбувається шляхом вирівнювання електричних диполів. Використання цього явища дозволяє контролювати дисперсію і агрегацію частинок. Діелектричні частинки дисперговані в ізоляційній рідині. Колоїдний розчин оборотно змінює реологічні властивості рідини, оскільки частинки утворюють ланцюг в тому ж напрямку, що і зовнішнє електричне поле. На додаток до структури ланцюга повідомлялося, що на поверхні електрода утворюється шар частинок. Повідомлялося також, що, коли газ використовується в якості дисперсійного середовища, вплив сили

тяжіння стає відносно великим, баланс сил, що діють у вертикальному напрямку частинок, руйнується, а структура ланцюга невпорядкована.

Аерозольні частинки набувають заряд знаходячись в зваженому стані. Утворення заряджених частинок спостерігається при розбризкуванні полярних рідин. Причина появи заряду у частинках, що знаходяться в зваженому стані, - зіткнення їх один з одним, а також захоплення газових іонів. У атмосфері завжди є присутніми іони, поява яких викликана, зокрема, дією природної радіації. На відміну від золів, що знаходяться в розчині електроліту, величина заряду на пилових конгломераціях аерозоля є випадковою величиною, визначеного, головним чином, зіткненнями з іонами газів. Таким чином, частинки однакоких розмірів і одного складу можуть мати різні за величиною (і навіть по знаку) заряду, що змінюються в часі абсолютно випадково. У звичайних умовах, газових іонів дуже мало і частинки аерозоля стикаються з ними рідко (одно зіткнення за період від декількох секунд до декількох хвилин). При зіткненні нейтральна частинка може отримати заряд, а у зарядженої частинки він може збільшитися, зменшитися або нейтралізуватися [18].

Таким чином, заряд частинки в аерозолях постійно змінюється. Проте, загалом, все ж можна вважати, що заряд частинки аерозолю тим більше, чим більше її розміри.

На практиці також встановлено, що частинки аерозолів металів і їх оксидів несуть негативний заряд, наприклад, Fe_2O_3 , MgO , Zn , ZnO , і. навпаки, частинки аерозолів неметалів і їх оксидів заряджені, як правило, позитивно - SiO_2 , P_2O_5 і так далі. Позитивно заряджені також частинки NaCl , вугілля, крохмалю; частинки борошна несуть негативний заряд.

За відсутності специфічної адсорбції на поверхні частинок аерозолів (тобто за умови однакової адсорбованості позитивних і негативних іонів) величини їх зарядів коливатимуться біля середньо-нейтрального значення, оскільки вірогідність зустрічі з позитивними і негативними іонами однакова. Таким чином, електричні властивості аерозолів відбивають тепловий рух

іонів, і їх можна характеризувати за допомогою статистичних законів. Наприклад, вірогідність придбання часткою якого-небудь заряду визначається вираженням Ейнштейна для вірогідності флуктуацій:

$$W \sim \exp(-A/kT), \quad (4.1)$$

де A - робота, необхідна для здійснення флуктуації (в даному випадку робота заряджання частинки).

Внаслідок того, що діелектрична проникність повітря ($\epsilon \sim 1$) набагато нижче, ніж у води, для заряджання до однакового заряду частинок в аерозолях потрібно здійснення більшої роботи, ніж для гідрозолів. Внаслідок цього середній заряд частинок виявляється нижче, ніж в гідрозолях, і сильно флуктує від частинки до частинки. Відповідно до теорії флуктуацій, величина середнього заряду визначається співвідношенням

$$q^2 = 4\pi\epsilon_0 r k T \quad (4.2)$$

Для часток з радіусом $r \sim 10^{-6}$ м при $T \sim 300$ К до $kT \sim 4.2 \times 10^{-21}$ Джоуля маємо $q^2 \approx 4.7 \times 10^{-37}$ (Кл)²; $q \approx 7 \times 10^{-19}$ Кл ($\sim 4qe$).

Експерименти і розрахунки показують, що заряди частинок аерозолів за відсутності специфічної адсорбції дуже малі, і зазвичай перевищують елементарний електричний заряд не більше ніж в 10 разів.

Це дозволило встановити дискретний характер заряду іонів і виміряти абсолютну величину заряду електрона, що і було виконано Міллікеном, що спостерігав за електрофорезом крапельок масляного туману (на тлі їх броунівського руху). Міллікен встановив, що заряд часток завжди виявлявся кратним одній і тій же величині $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл (заряд електрона) [19].

Специфічна адсорбція газових іонів на частках аерозолів значно ускладнює оцінку зарядів частинок. Така адсорбція характерна для часток, що мають хімічну спорідненість до газових іонів, або для систем, в яких електричний потенціал на міжфазній межі виникає ще при їх утворенні. Міжфазний потенціал може виникнути за умови різко вираженої відмінності полярних властивостей середовища і дисперсної фази. Розглянемо тепер електричні процеси, що протікають у великих об'ємах аерозолі, частинки

якого, придбали заряди одним з можливих способів, наприклад, внаслідок орієнтації полярних молекул рідкої фази.

Осідання заряджених часток призводить до виникнення потенціалу осідання, інакше кажучи, електричного поля у вертикальному напрямі. Якщо не брати до уваги силу тяжіння і вважати, що частка рухається уздовж електричного поля, то, коли частка придбаває постійну швидкість руху, і електрична сила дорівнюватиме силі тертя:

$$Eq = BU \quad (4.3)$$

де E - напруженість поля, q - заряд частинки.

При дотриманні закону Стоксу швидкість руху частинки рівна

$$U = \frac{Eq}{6\pi\eta r} \quad (4.4)$$

При обліку гравітаційного поля, напрям якого протилежний до електричного поля, швидкість руху частинки виражається рівнянням:

$$U = \frac{mg - Eq}{6\pi\eta r} \quad (4.5)$$

де m - маса частинки.

Важливою відмінністю аерозолів від рідких дисперсних систем є відсутність електронейтральності системи в цілому. Суспензії, емульсії, ліозолі в макрокількостях не мають заряду, в них дотримується закон електронейтральності. Аерозолі ж навіть у великих кількостях можуть мати значний статичний заряд, а седиментація призводить до його нерівномірного розподілу в системі, що створює серйозні труднощі при розгляді закономірностей зміни властивостей аерозолів [20].

У промисловості для руйнування аерозолів з метою очищення газових сумішей широко використовують дію електричного поля. Зарядження частинок, викликане адсорбцією іонів, (переважно негативних), що виникають в результаті іонізації повітря при коронному розряді (напруга 70-100 тис. вольт), забезпечує електрофорез і осадження часток на аноді. Електрофільтри ефективно затримують частинки розміром більше 1 мкм.

Є електрофільтри, в яких процеси заряджання і осадження часток просторово розділені. У таких електрофільтрах утворюється значно менше продуктів окислення повітря (оксидів азоту, озону та ін.), тому їх застосовують для кондиціонування повітря.

У електрофільтрі зарядка часток відбувається дуже швидко: за час менше секунди заряд частинок наближається до свого граничного значення (табл. 4.1).

Таблиця 4.1- Співвідношення заряду частинок від часу зарядки

Час зарядки, с	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1,0
Заряд, в % від граничного	13,8	61,0	94,0	99,5

Швидкість руху заряджених частинок пилу діаметром менш 1 мкм в електростатичному полі, м/с, може бути визначена за формулою:

$$w_{\text{ч}} = 0,17 \cdot 10^{-11} E / \mu_0. \quad (4.6)$$

де E - напруженість електричного поля, В / м;

μ_0 - динамічна в'язкість газу (повітря), Па с.

Час осадження може бути знайдено з рівняння:

$$w_x = \frac{dx}{d\tau}; \quad \tau_0 = \int_{R_1}^R \frac{dx}{w_{\text{ч}}}, \quad (4.7)$$

де R - відстань від осі коронуючого електрода до поверхні осадідаючого електрода; R_1 - радіус коронуючого електрода.

Пил з малою електричною провідністю спричиняє явище зворотної «корони», яке супроводжується утворенням позитивно заряджених іонів, частково нейтралізує негативний заряд частинок, внаслідок чого, вони втрачають здатність переміщуватись до електрода і осідати. На провідність пилу впливає склад газу і пилу. З підвищенням вологості газів питомий електричний опір пилу знижується. При високих температурах газу

знижується електрична міцність міжелектродного простору, що призводить до погіршення уловлювання пилу [21].

4.2 Ефекти злипання крапель і гранул в електрофоретичному процесі (експеримент)

Електрично заряджена зерниста речовина, зважена в неполярній рідині, значно відрізняється від колоїдних суспензій, які інтенсивно досліджувалися в останні роки. У той час, як в останньому випадку, електростатичні сили екрануються шарами противоіонів, що оточують частинки. Через взаємодії рідини з оточуючими молекулами, частинки більше не рухаються балістично, а майже повністю термалізуються і, таким чином, виконують ефективне випадкове блукання, кероване броунівськими силами. Це означає, що концепція гранульованої температури вже не дійсна, натомість її необхідно замінити звичайною рідиною, яка служить в якості теплового резервуару. Для сферичної частинки з радіусом a і масою m тимчасова шкала має порядок m ,

$$t_{relax} = \frac{m}{6\pi\eta a}, \quad (4.8)$$

де η - в'язкість рідини. Ця тимчасова шкала повинна порівнюватися з типовим часом, який потрібен для розсіювання частинки в середньому за її власним діаметром,

$$t_{diff} = \frac{12\pi\eta a^3}{k_B T} \quad (4.9)$$

Існують різні джерела злипання крапель та гранул. Один з них викликаний поверхневими адсорбатами, наприклад, вологістю. Іншим джерелом, який особливо важливий для дуже тонких порошків, є взаємодія Ван-дер-Ваальса. Насправді, для дрібних частинок розміром 1 мікрон або нижче, сили Ван-дер-Ваальса є домінуючим джерелом липкості. Сили Ван-дер-Ваальса мають

квантово-механічне походження і викликані флуктуаціями віртуальних диполів. Це означає, що молекула, що має зникаючий дипольний момент, може отримати нульовий дипольний момент протягом короткого часу Δt до тих пір, поки відповідна зміна енергії ΔE буде менше, ніж $h/2\delta t$. Цей тимчасовий диполь потім індукує інший диполь в сусідній частинці. Сила Ван-дер-Ваальса між двома молекулами швидко убуває при r^{-6} . На великих відстанях, приблизно 100 нм, він розпадається ще швидше, так як час встановлення індукованого диполя (заданий швидкістю світла, що рухається між молекулами) перевищує Δt . З цієї причини силу Ван-дер-Ваальса можна ефективно розглядати як силу з кінцевим діапазоном близько 100 нм. Однак при малих r сила Ван-дер-Ваальса стає дуже сильною, особливо в разі дуже дрібних частинок. Більш конкретно, сила між двома сферичними частинками радіусів a_1, a_2 , поверхні яких розділені відстанню h , надається формулою:

$$F = -\frac{Aa_1a_2}{6h^2(a_1 + a_2)} f(p) \quad (4.10)$$

де p пов'язано з довжиною хвилі $\lambda L \approx 100$ нм при $p = 2\pi h / \lambda L$.

Тут A - так звана константа Хамакер, яка зазвичай змінюється в діапазоні 10^{-21} Дж і 10^{-18} Дж. У багатьох експериментальних ситуаціях розумно розглядати взаємодію Ван-дер-Ваальса як необоротну силу короткої дії.

Коли частинки торкаються один одного, вони неминуче склеюються. Отже, агрегат гранульованого матеріалу утворює кластери багатьох первинних частинок, які часто виглядають як пластівці. Хоча жорсткість таких пластівців є кінцевою, вони все одно можуть руйнуватися під механічною напругою. Важливою величиною, що характеризує агрегацію заряджених частинок в рідині, є так звана довжина Бьєррума:

$$l_B = \frac{q^2}{4\pi \epsilon_0 \epsilon_T k_B T} \quad (4.11)$$

де q - заряд частинок, а r - відносна діелектрична проникність середовища в якому виконується експеримент. Довжина Бьєррума визначає типову

відстань, на якому кулонівський бар'єр між двома однаково зарядженими частинками має той же порядок, що і теплова енергія $k_B T$. Таким чином, на практиці суспензія може вважатися стабільною [20].

Розглянемо модель, результати якої доповідались у травні 2018 р. на Конференції молодих вчених, формування і маніпулювання конгломераціями гранул у вигляді кластерів і струмів за допомогою сконфігурованого неоднорідного електричного поля, сформованого між двома електродами. На рис 4.2 схематично приведений експеримент по формуванню гранульованих струмів під дією неоднорідного електричного поля достатньо високої напруженності. Вважаючи, що гранули мають найпростішу геометричну форму і за своїми фізичними властивостями є діелектриками.

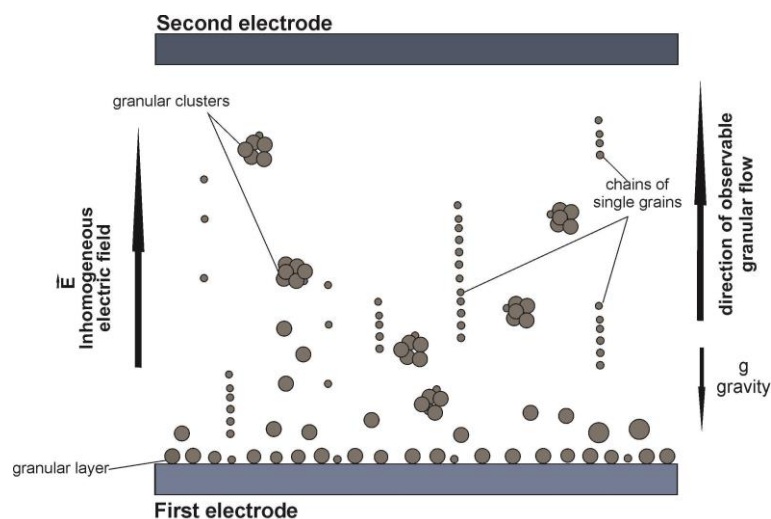


Рис 4.2 - Схематичне відображення експерименту руху гранульованого струму в неоднорідному електричному полі.

Розрахунок діелектричної сили, що діє на мікроскопічну частинку, зважену в середовищі, повинен враховувати поляризацію частинки і її подальша взаємодія з електричним полем. Інтригуючим першим підходом є розгляд точкового диполя, схильного неоднорідного полю. В цьому випадку чиста сила може бути описана як різниця між двома електрофоретичними силами, що діють на двох кінцях диполя:

$$F = F_{E_p} (+q) + F_{E_p} (-q) = qF(r+d) - qF(r) \quad (4.12)$$

Розглядаючи питання про дію діелектрофореза можна відзначити, що діелектрофорез діє на матерію, яка має здатність до поляризації, навіть коли вона не заряджена. Це відбувається тільки в неоднорідних електричних полях. Через те, що сила пропорційна градієнту E^2 , його напрямок не змінюється при інверсії електричного поля. Залежно від знака і величини фактора Клаузиуса-Моссотті зважені частинки або притягуються, або відштовхуються від областей з високою інтенсивністю поля [15].

Завдяки наведеним властивостям діелектрофорез призводить до безлічі концепцій групування і маніпулювання частинками. Це надає можливості практичного застосування описаних в експерименті ефектів формувати групи, ланцюжки, кластери із часток та

маніпулювати рухом гранульованих частинок у сформованому зовнішньому неоднорідному електричному полі в таких сферах, як маніпуляція та евакуація середньо та дрібнодисперсного пилу, а також різні напрямки електрофоретичних та діелектрофоретичних технології [21].

5 ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МОДЕЛЕЙ ПИЛООЧИСТКИ

Очищення повітря від пилу підрозділяється на грубу, середню і тонку. Тонка очистка забезпечує кінцевий вміст пилу в повітрі 1-2 мг/м³. Електрофільтри, вакуумнопилова та левітаційно-електрофоретична очистки є яскравими прикладами моделей тонкої очистки.

Принцип дії електрофільтрів заснований на тому, що частинки пилу, проходячи разом з повітрям через електричне поле, отримують заряд електрики, притягуються до електродів і осідають на їх поверхнях. З електродів частинки пилу видаляють механічним способом. В ультразвукових пилоуловлювачах використовується здатність частинок пилу згоратися в пластівці під дією ультразвукових хвиль, створюваних сиреною. Пластівці випадають в бункер пиловловлювача.

Електрофільтри застосовують для очищення повітря і газу від дрібнодисперсного пилу (рис. 5.1 а). При проходженні запиленого газу або повітря через фільтр відбувається іонізація частинок пилу. Пил, що отримав заряд від негативного коронуючого електрода, прагне осісти на позитивних пластинах, якими є заземлення стінки фільтра і спеціальні осаджувальні електроди. Ці електроди періодично струшуються за допомогою спеціального механізму, а осілий пил збирається в бункері, звідки видаляється [4].

У ультразвукових фільтрах (рис. 5.1, б), що застосовуються для тонкого очищення, під впливом ультразвуку високої інтенсивності відбувається коагуляція найдрібніших частинок пилу. Утворені великі частинки потім осідають в звичайних пилоуловлювачах, наприклад в циклонах.

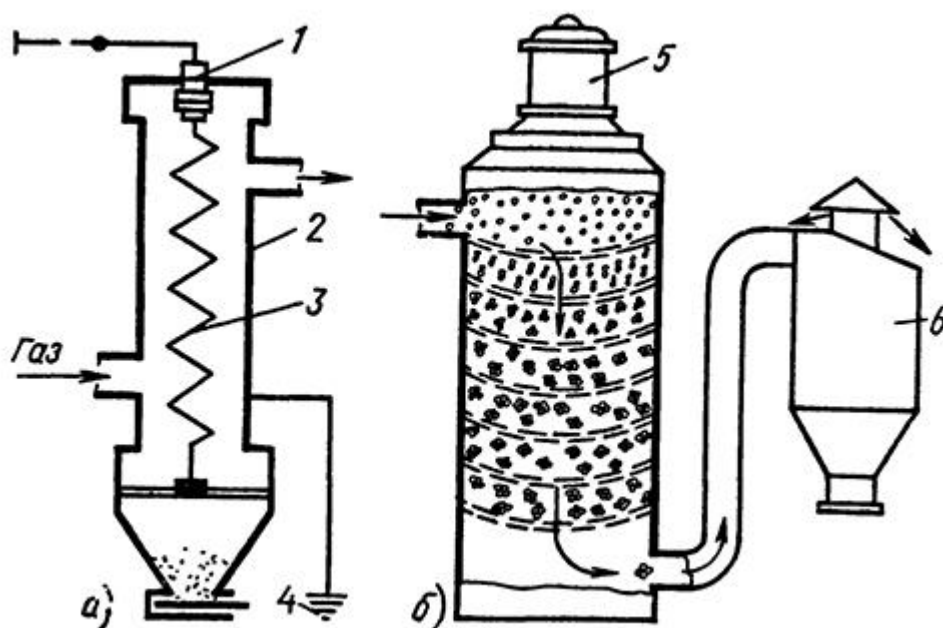


Рис 5.1. Фільтри: а - електричний; б - ультразвуковий; 1 - ізолятор; 2 - стінки фільтра; 3 - коронуючий електрод; 4 - заземлення; 5 - генератор ультразвуку; б - циклон

Широке поширення в промисловості мають електрофільтри типу УГ, ЕГА і ін. Ці апарати застосовують на теплових електростанціях, в чорній і кольоровій металургії, хімічній промисловості, на підприємствах будівельних матеріалів. Для промислової газоочистки можуть бути рекомендовані електрофільтри загального призначення типів ЕГА, ЕГТ (горизонтальні сухі), УВ, ЕВР (вертикальні сухі), а також ряд спеціалізованих типів електрофільтрів [22].

Електрофільтри серії ЕГА призначені для знепилювання неагресивних, невибухонебезпечних газових викидів з температурою до 330°C . Корпуси апаратів сталеві, мають прямокутну форму і розрахові на розрідження до 4 кПа. В апараті є 3 електричних поля, розташованих послідовно по ходу газу. Осаджувальні електроди являють собою плоскі полотна, набрані з прутків. Довжина одного активного поля 2,5 м, ширина 5,97 м (ширина корпусу 6,0 м), висота 7,74 м, відстань між сусідніми електродами 260 мм. Вловлений пил видаляється з електродів механічним струшуванням за допомогою ударів молотків по ковадлах осаджувальних електродів.

Електрофільтри серії ЕГТ призначені для очищення неагресивних, невибухонебезпечних газів з температурою до 450°C . Їх основна відмінність від апаратів серії ЕГА полягає в конструкції осаджувальних електродів, які аналогічні вживані в електрофільтрах серії ЕГА. Висота коронуючих електродів 8040 мм. Корпус апарату розрахований на розрідження до 4 кПа. Маркування електрофільтрів серії ЕГТ означає: електрофільтр горизонтальний високотемпературний; перше число після букв вказує номер (габарит) типорозмірного ряду; друге - кількість полів, третє - довжину одного поля, м; четверте - площа активного перетину, м^2 .

Електрофільтри марки ЕГ2-2-4-37 СРК призначені для очищення газів содорегенераційних котлоагрегатів. Електрофільтри односекційні, з двома послідовними по ходу газу електричними полями. Коронуючі електроди являють собою трубчасті рами, в яких закріплені коронуючі елементи; осаджувальні електроди виконані у вигляді плоских полотен, набраних з пластинчастих елементів спеціального профілю. Відстань між сусідніми електродами 300 мм, висота електродів 7200 мм, ширина поля 6000 мм.

Електрофільтри типу УГМ використовуються для знепилювання неагресивних і невибухонебезпечних технологічних газових викидів з температурою до 250°C . Апарати односекційні, з двома електричними полями по ходу газів. Корпуси електрофільтрів прямокутні, теплоізовані, розраховані на розрідження до 4 кПа. Осаджувальні електроди являють собою плоскі полотна, набрані з пластинчастих елементів спеціального профілю. Відстань між сусідніми електродами 275 мм. Коронуючі електроди складені з стрічково-голчастих елементів, натягнутих в трубчастих рамах. Висота електродів 3000 мм, ширина корпусу 1500 мм (УГМ-2-3,5) і 3000 мм (УГМ-2-7). Пил з електродів видаляється механічним струшуванням. Маркування електрофільтрів позначає: уніфікований, горизонтальний, малогабаритний; перше число - кількість полів, друге - площа активного перетину, м^2 [11].

Принцип дії двухзонного електрофільтру заснований на тому, що очищений газ або повітря пропускають через поле уніполярного коронного розряду. Зважені в газі або повітрі частинки (пилу, диму, туману і т.п.) заряджаються за рахунок іонної зарядки і під дією електричних сил.

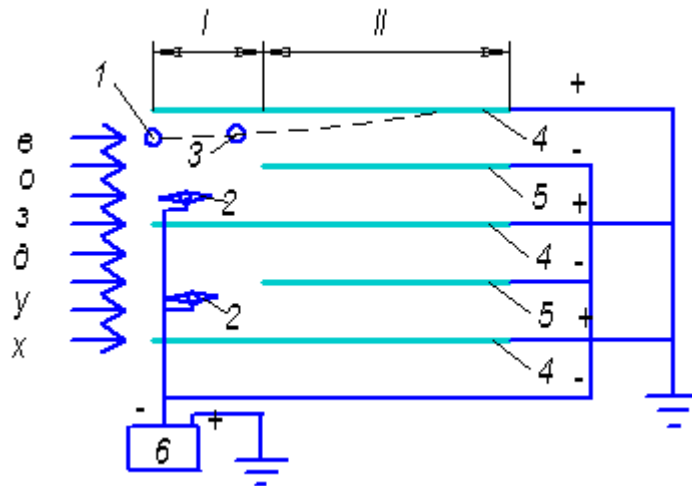


Рис 5.2. Схема двухзонного електрофільтру: 1 - незаряджена частинка пилу на вході в електрофільтр; 2 - коронуючі електроди; 3 - заряджена частинка пилу на вході в зону осадження; 4 - заземлення осаджувальних електродів; 5 - високовольтні електроди; 6 - джерело високої напруги; I - зона зарядки; II - зона осадження.

Швидкість газу, що очищується в активній зоні, є однією з основних характеристик електрофільтру. Найбільшу величину електричного заряду частинки розміром до 1 мкм отримують за час знаходження в електричному полі близько 1 с. Швидкість приймають в залежності від конструкції електрофільтру. Так, в сухих електрофільтрах її значення знаходиться зазвичай в межах 0,8 - 1,7 м/с. Повинно бути забезпечено рівномірний розподіл швидкості газу, що очищається по перетину апарату. Для вирівнювання швидкісного поля в електрофільтрі встановлюють решітки, направляючі лопатки, перфоровані пластини.

Переваги електрофільтрів: низький аеродинамічний опір; уловлювання частинок в широкому діапазоні розмірів (від сотень до доль мкм); зручність

автоматизації; можливість комплексної обробки повітря (очищення, іонізації і створення регульованих концентрацій озону).

Для очищення повітря та повітря також можна застосовувати двозонні електрофільтри, в яких частинки заряджаються і осідають в різних конструктивних зонах [23].

Значення пилоприбирання. Кількість осілого пилу при ручному прибиранні концентрація пилу в робочій зоні перевищує фонову в десятки разів. Цей метод дозволяє зібрати і видалити з приміщення переважно пил найбільш крупних фракцій, в той час, як найбільш шкідлива в гігієнічному відношенні тонкодисперсна пил, вдруге надходить в повітря і з приміщення практично не видаляється. Ручне вбирання малопродуктивна. На підприємствах харчової промисловості, як і в інших галузях, вона ніяких перспектив не має. Високими санітарно - гігієнічними характеристиками відрізняється вакуумна пилоприбирання, при якій очищення поверхонь здійснюється за рахунок взаємодії всмоктуючого факела пилососної насадки.

Вакуумна пилоприбирання - спосіб видалення пилу з поверхонь шляхом всмоктування її спеціальним пристроєм в результаті створення в ньому розрідження (вакууму). Дозволяє прибирати пил з самих різних за характером і призначенням поверхонь і з важкодоступних для інших способів збирання місць, запобігає вторинному потраплянню пилу в повітряне середовище.

Система вакуумного пиловидалення також ефективно застосовуються для видалення дрібного пилу. Вакуумна пилоочистка дешевше звичайного ручного прибирання. Вакуумна пилоочистка застосовна і для очищення приміщень з будь-яким режимом температурної вологості. [11].

Існують два основних різновидів вакуумного прибирання пилу: - за допомогою промислових пилососів; - за допомогою центральних пилососних установок.

У більшості випадків доцільно використовувують для прибирання пилу у виробничих приміщеннях підприємств центральні пилососні установки (ЦПУ). Застосування вакуумного прибирання пилу виключає вторинне

пилоутворення, внаслідок чого концентрація пилу в повітрі робочої зони під час прибирання не відрізняється від фонові та забезпечує повне видалення зібраного пилу з приміщення. В результаті підвищується загальне виробництво, скорочується час збирання пилу і підвищується довговічність технологічного обладнання. Крім того, вакуумне прибирання пилу дозволяє значно зменшити трудомісткість процесу збирання і, що не менш важливо, змінити його зміст. Однак, незважаючи на свої переваги, ЦПУ ще не набули великого поширення. Це пояснюється, зокрема, відносно високою вартістю установок, недостатнім досвідом їх проектування і експлуатації. Промислові пилососи також мають обмежене застосування.

Системи вакуумного прибирання пилу використовуються у вигляді місцевих (переносних або пересувних). Всмоктування пилу з поверхні пиловидводним потоком повітря через пилососний насадок - основний робочий процес пилозбиральної установки. Цей складний процес залежить від швидкості потоку повітря в насадці, часу контакту потоку з осадам пилу або продуктивності, фізико-хімічних властивостей пилу. Енергоємність процесу всмоктування пилу залежить від продуктивності установки по повітрю і властивостей прибирання пилу, тобто обумовлюється ефективністю і економічністю роботи всієї системи [5].

Транспортування пилу по трубопроводах центральної пилоочисної установки обумовлює втрати тиску в мережі і, отже, витрата електроенергії, а також інтенсивність зносу труб. Мережа трубопроводів має горизонтальні, похилі і вертикальні ділянки, різні місцеві опори, через що, змінюються закони руху запиленого повітря. Обертання потоку перешкоджає осадженню часток на дні трубопроводу.

На рис. 5.3 та 5.4 представлені приклади схем вакуумних централізованих пилоочисткок:

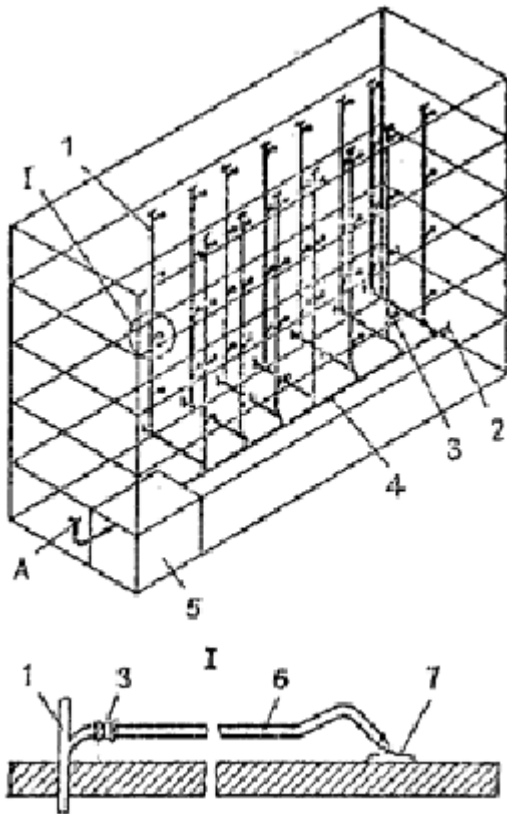
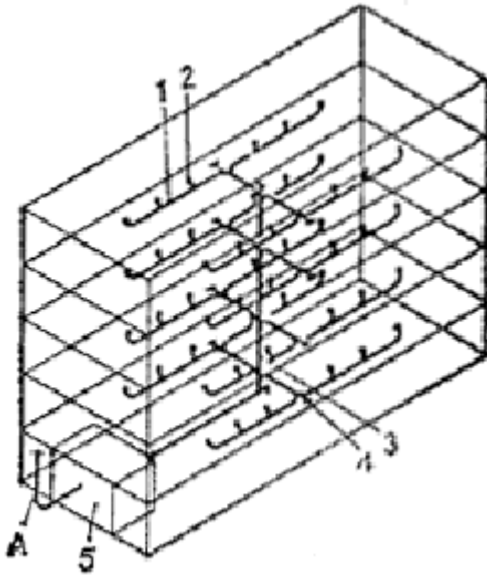


Рис 5.3. Схема вакуумного центрального пилоочистка з горизонтальним магістральним трубопроводом.

1 - стояк пиловидалення; 2 - знімна заглушка для очищення пилопроводів; 3 - з'єднувальний клапан очищення; 4 - магістральний пилоповід; 5 - пилососна установка; 6 - гнучкий шланг; 7 - пилососний насадок.



Мал. 5.4 Схема вакуумного центрального пилоприбирання з вертикальним магістральним пилопроводом

1 - горизонтальне відгалуження; 2 - з'єднувальний клапан; 3 - магістральний пилопровід; 4 - знімна заглушка для пилопроводів; 5 - пилососна установка; А- викид очищеного повітря.

Система з горизонтальним магістральним пилопроводом передбачається із застосуванням настінних сполучних клапанів. Система з вертикальним магістральним пилопроводом передбачається із застосуванням підлогових сполучних клапанів. Допускається проектування системи з комбінацією горизонтального і вертикального магістральних пилопроводів [23].

Основні переваги вакуумної пилоочистки : механізоване прибирання виключає вторинне запилення повітря, в порівнянні з прибиранням вручну за допомогою підручних засобів; системи компактні і можуть бути розміщені практично на будь-якому просторі, вільному від технологічного обладнання; вони досить продуктивні, прості в експлуатації, гігієнічні, не вимагають великих капітальних витрат;

Але використання промислових пилососів для прибирання виробничих приміщень підприємств в більшості випадків недоцільно із-за ряду недоліків таких як: мала продуктивність промислових пилососів по повітрю часто

недостатня для високопродуктивного та якісного прибирання різних за характером поверхонь; порівняно невелике розрідження не дозволяє в багатьох випадках застосовувати шланги необхідної довжини; обмежена ємність пилових бункерів тягне за собою додаткові труднощі при зборі і видаленні пилу з приміщень зі значними пиловікладеннями; недосконалість очистки повітря, що викидається пиłosосами в приміщення, яке прибирається; незручність прибирання приміщень, насичених технологічним обладнанням; застосування пиłosосів доцільно в приміщеннях з незначними пиловікладеннями, а також в тих випадках, коли пристрій системи централізованого вакуумного прибирання пилу неможлива.

Також до моделей тонкої очистки відноситься й левітаційно-електрофоретична модель, яка здійснюється прикладенням неоднорідного зовнішнього електричного поля.

Переваги – тонка очистка, яка вловлює найдрібніші пилові конгломерації і забезпечує кінцевий вміст пилу в повітрі 1-2 мг/м³. До недоліків моделі відноситься – вимагання достатньо високих електричних затрат [24].

ВИСНОВКИ

Промисловість та інші види господарської діяльності людини є джерелом викидів у атмосферне повітря різноманітних забруднюючих речовин. Регулярно в повітря потрапляють аерозольні часточки, гази, пари, мікроорганізми та радіоактивні речовини. Серед забруднюючих речовин особливо виділяється пил. Пил це тверді, дрібні частинки, які певний час знаходяться у повітрі, а потім осідають під дією власної ваги. Одним із найнебезпечніших видів є органічний пил. Органічний пил - це атмосферні часточки рослинного, тваринного походження, а також аерозоль, який містить в собі дрібнодисперсні частинки органічних речовин, вірусів, мікроорганізмів, тощо. Він надходить у повітря в процесі шліфування й полірування виробів. Такий тип пилу є шкідливим для здоров'я людини

Очистка викидів відіграє важливу роль в санітарно-гігієнічному та екологічному стані країни. Очищення повітря від пилу підрозділяється на грубу, середню і тонку. Тонка очистка забезпечує кінцевий вміст пилу в повітрі 1-2 мг/м³. На сучасному етапі тонка очистка викидів є одним з основних дій направлених на захист повітря.

До основних технологій тонкої очистки, які здійснюються за допомогою зовнішнього маніпулюємо електричного поля, відносяться електрофільтри. Але, нажаль використання електрофільтрів потребує значних енергетичних затрат. А саме, типові напруги в таких технологіях складають десятки тисяч вольт. Розвиток технологій тонкої пилоочистки із використанням неоднорідного електричного поля, таким чином, наочно потребують пошуку шляхів зниження робочої напруги із утриманням вище описаних умов стимулювання гібридної (левітаційно-електрофоретичної) схеми.

У магістерській роботі була проаналізована гібридна левітаційно-електрофоретична модель (тобто, процес левітації схрещений та

гібридизований з процесом електрофорезу), у якості теоретичної основи технології тонкої пилоочистки. Пропонуєма технологія має базуватися на стимулюванні на першому етапі левітаційного спливання та виділення пилових частинок з матриці включення (міст залігання), із наступним (на другому етапі) створенням умов електрофоретичного руху (електрофорезу).

З`ясовані умови (критерії) виникнення вищевказаних явищ. Обговорюються попередні експерименти, в яких спостерігалось(за певних конструктивних умов) вищеописане явище.

Проведено порівняльний аналіз існуючих технологій тонкої очистки на прикладі електрофільтру, вакуумної пилоочистки та запропонованої гібридної левітаційно-електрофоретичної схеми. Зроблено висновки про переваги левітаційно-електрофоретичної моделі на шляху забезпечення саме тонкої пилоочистки, а також висвітлені її недоліки, які полягають у високій енергозатратності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методи очистки повітря від пилу. [Електроний ресурс]. Режим доступу:https://studwood.ru/680461/bzhd/metody_ochistki_vozduha_pyli#813, (дата звернення 04.10.2018).
2. Методи очистки повітря. [Електроний ресурс]. Режим доступу: <https://studopedia.org/13-128695.html>, (дата звернення 18.10.2018).
3. Повітря в житловому приміщенні та побутові методи його очистки від забруднювачів. [Електроний ресурс]. Режим доступу: https://revolution.allbest.ru/ecology/00661908_0.html, (дата звернення 24.10.2018).
4. Ветошкин А.Г. Процессы и аппараты пылеочистки:/ Учебное пособие./ Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2005. с. 210.
5. Беккер А.А., Агаев Т.Б. Охрана и контроль загрязнения природной среды. Учебное пособие. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 287 с.
6. Руководство по контролю загрязнения атмосферы/РД52.04.186-89/.- М.: Госкомгидромет, 1991. - 693 с.
7. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы - Л.: Гидрометеиздат, 1985. - 272 с.
8. Білецький В. С., Смирнов В. О. Технологія збагачення корисних копалин. — Донецьк: Східний видавничий дім, 2003. — 272 с.
9. Плановский, А. Н. Процессы и аппараты химической технологии / А. Н. Плановский, В. М. Рамм, С. З. Каган. - М.: Химия, 1967. — 847 с.
10. Ратушняк Г. С., Лялюк О. Г. Технічні засоби очищення газових викидів. Навчальний посібник. — Вінниця: ВНТУ, 2005. — 158 с.
11. Улавливание и утилизация пылей и газов: Учебное пособие – Денисов С.И. – М.: Металлургия, 1991. – 320 с.
12. E. H. Brandt. Levitation in Physics. Science **243**, 349 – 87 с. (1989).

13. Мартыненко Ю.Г. Движение твердого тела в электрических и магнитных полях. М.: Наука, 1988. С. 368.
14. Н.Г. Демьянцева, С.М. Кузьмин, М.А. Солунин, С.А. Солунин, А.М. Солунин: О движении заряженных частиц в переменном неоднородном электрическом поле.- Журнал технической физики, 2012, том 82, вып. 11 – 36 с.
15. Aliotta F., Gerasymov O.I., Calandra P. Electrospray Jet Emission: An Alternative Interpretation Invoking Dielectrophoretic Forces. //Ch.3 (pp.51-90) in Book “Intelligent Nanomaterials”, 2nd edition. (Ed. A. Tiwari, Y.K. Mishra, H. Kobayashi, A. P.F. Turner). Advanced Materials Series. – John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, and Scrivener Publishing LLC, Beverly, Massachusetts, USA, 2017. – 581p.
16. R. B. Jones, Stability of colloidal clusters in shear flow near a wall: Stokesian dynamics simulation studies, J. Chem. Phys. 115, 5319 (2001) – 27 с..
17. M. Shoyama et al Charging of dielectric particle layer and levitation of particles in strong electric field /Advanced Powder Technology 29 (2018) 1960–1967– 57 с.
18. Аверкин А.Г. Аппараты для физико-химической очистки воздуха. Учеб. пособие. В 2-х ч. Ч.1. Абсорберы. Пенза: ПГАСА, 2000. – 67 с.
19. Аверкин А.Г. Аппараты для физико-химической очистки воздуха. Учеб. пособие. В 2-х ч. Ч.2 Адсорберы. Пенза: ПГАСА, 1999. – 23 с.
20. Белевицкий А.М. Проектирование газоочистительных сооружений. – Л.: Химия, 1990. – 65 с.
21. Матеріали наукової конференції молодих вчених. Діелектрофоретичний механізм формування гранульованих струмів в неоднорідному електричному полі. ОДЕКУ, Х.: ФОП Панов А.М., 2018. С. 63.
22. Страус В. Промышленная очистка газов. – М.: Химия, 1981. – 54 с.
23. Зиганшин М.Г., Колесник А.А., Посохин В.Н. Проектирование аппаратов пылегазоочистки. – М.: «Экопресс – 3М», 1998. – 75 с.

24. Защита атмосферы от промышленных загрязнений. В 2-х ч. Ч.1: /Под ред. Калверта С., Инглунда Г.М. - М.: Metallurgy, 1988. – 56 с.