

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ ТА СИСТЕМ**

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

_____ Юлія ЯМНЕНКО
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 2021р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра**

зі спеціальністю _____ 171 Електроніка
(код і назва)

освітня програма (спеціалізація) Електронні прилади та пристрої

на тему: «Засоби контролю безпечного функціонування розумного дому»

Виконав (-ла): студент (-ка) II курсу, групи ДЕ-91мн
(шифр групи)

Бевза Ірина Олегівна
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник доц. к. т. н., доц. Вячеслав ЧАДЮК
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент доц., д.т.н., доц. Дмитро ТАТАРЧУК
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант
по нормоконтролю доц., к.т.н., доц. Лариса БАТРАК
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2021 року

**Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського”**

Факультет електроніки

(повна назва)

Кафедра Електронних пристроїв та систем

(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо - професійною програмою

Спеціальність 171 Електроніка

(шифр і назва)

Освітня програма (спеціалізація) Електронні прилади та пристрої

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Юлія ЯМНЕНКО
(підпис) (прізвище ініціали)

« _____ » _____ 2021 року

З А В Д А Н Н Я

НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИСЕРТАЦІЮ СТУДЕНТУ

БЕВЗА Ірині Олегівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації : «Засоби контролю безпечного функціонування розумного дому»

науковий керівник дисертації Чадюк Вячеслав Олексійович, к.т.н., доцент,

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

затверджені наказом по університету від « 15 » березня 2021 року № 835-с

2. Термін подання студентом дисертації 11.05.2021 р.

3. Об'єкт дослідження – засоби контролю повітряного середовища розумного дому та прилеглої території

4. Вихідні дані – фільтрація субмікронних частинок

5. Перелік завдань, які потрібно розробити Розрахувати та розробити конструкцію електричного повітряного фільтра

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу конструктивна схема електростатичного фільтру, результати моделювання електростатичного фільтру, залежність вірогідності прольоту частинки крізь фільтр в залежності від

розміру частинки при різних значеннях напруги на коронуючому електроді _____

7. Орієнтовний перелік публікацій Чадюк В.О., Бевза І.О., Майкут С. О.
Моделювання електростатичного пластинчастого фільтру // Мікросистеми,
Електроніка та Акустика.– Київ.- 2021 (готується до публікації) _____.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання 20.10.2020 _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд науково-технічної літератури за темою дисертації та узагальнення даних по наявним методам фільтрації повітря, по впливу частинок у повітря на організм людини.	21.10.20-20.12.21	
2	Конструювання на основі пакету COMSOL фізико-топологічної моделі електростатичного фільтру з пластинчастою конструкцією осаджувальних електродів.	21.12.21-20.02.21	
3	Огляд науково-технічної літератури за темою штучного інтелекту та створення програмного методу детекції людини.	01.02.21-07.03.21	
4	Проведення вимірювання на макеті озонатора	07.03.21-14.07.21	
5	Підготовка статті за результатами моделювання та вимірювання	15.03.21-20.04.21	
6	Підготовка презентації по темі роботи для допуску до захисту дисертації	01.05.21-18.05.21	

Студент

(підпис)

Ірина БЕВЗА

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації _____

(підпис)

Вячеслав ЧАДЮК

(ініціали, прізвище)

АНОТАЦІЯ

Метою роботи було розробити та дослідити методи контролю повітряного середовища в розумному домі.

В ході роботи було розроблено удосконалену конструкцію повітряного електростатичного фільтру та досліджено ефективність його роботи в залежності від напруги на коронуючому електроді. Дослідження здійснювалось за допомогою розробленої фізико-топологічної моделі повітряного фільтру і досліджено роботу запропонованого електростатичного фільтру при напругах 12кВ, 14кВ, 16 кВ, 18 кВ, 20 кВ. Було досліджено ефективність фільтрації частинок діаметром 0,01; 0,025; 0,05; 0,2; 0,5; 1; 2; 5; 10 мкм які відтворювали собою частинки палу різного розміру в повітряному потоці. Було обрано оптимальний режим роботи виходячи з пріоритетної групи частинок для фільтрації та виходячи з кількості створюваного озону в процесі роботи фільтру. Також було розроблено програмне рішення за допомогою якого можна розпізнавати людину у приміщенні і ефективно керувати системами розумного дому в тому числі електростатичним фільтром. В якості результатів роботи було приведено 38 зображень серед яких конструкції повітряних фільтрів, результати моделювання фільтру, залежність вірогідності прольоту частинки від її розміру, демонстрація результатів роботи програми по детекції людини.

Використовуючи результати проведеної роботи можливо створити ефективний прилад вбудований в систему розумного дому, тим самим підвищуючи безпеку користувачів особливо в умовах пандемії Ковід-19.

В подальшому є можливим дослідження інших конфігурацій електростатичного фільтру за допомогою створеної фізико-топологічної моделі в залежності від пріоритетної групи частинок з метою підвищення ефективності та зменшення концентрації озону в результаті роботи фільтру.

Ключові слова: електростатичний фільтр, пил, віруси, коронний розряд, детекція людини.

ANNOTATION -

The purpose of the work was to develop and investigate methods of air control in a smart home.

During the work, an improved design of the air electrostatic precipitator was developed. The efficiency of its operation depending on the voltage at the corona electrode was investigated. The research was carried out using the developed physical and topological model of the air filter. The work of the proposed electrostatic filter at voltages of 12 kV, 14 kV, 16 kV, 18 kV, 20 kV was investigated. The filtration efficiency of particles with a diameter of 0.01, 0.025, 0.05, 0.2, 0.5, 1, 2, 5, 10 μm was investigated as the reproducing pile particles of different sizes in the air stream. The optimal mode of operation was selected, based on the priority group of particles for filtration and based on the amount of ozone generated during the operation of the filter. A software solution has also been developed that can be used to detect a person indoors and effectively control smart home systems, including an electrostatic precipitator. As results of work were added 38 images among which designs of air filters, results of modeling of the filter, the dependence of the probability of flight of a particle on its size, and demonstration of results of work of the program on detection of the person.

Using the results of this work, it is possible to create an effective device built into the smart home system, thereby increasing the safety of users, especially in the context of the Covid-19 pandemic.

In the future, it is possible to study other configurations of the electrostatic precipitator using the created physical and topological model depending on the priority group of particles to increase efficiency and reduce the concentration of ozone as a result of the filter.

Key words: electrostatic precipitator, dust, viruses, corona discharge, human detection.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. АНАЛІЗ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	10
1.1.Мікрочастинки у повітрі	10
1.1.1. Джерела пилу	10
1.1.2. Вплив запиленого повітря	11
1.2.Повітряні фільтри	12
1.2.1. Види повітряних фільтрів	12
1.2.2. Моделювання електростатичних фільтрів	20
1.3.Особливості коронного розряду	21
Висновок до першого розділу	22
2.ЗАХИСТ ПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА РОЗУМНОГО ДОМУ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОГО ФІЛЬТРА	24
2.1. Конструкція електростатичного фільтру	24
2.3. Результати моделювання	30
2.3. Аналіз результатів моделювання	41
Висновок до другого розділу	44
3. КОНТРОЛЬ ПРИЛЕГЛОЇ ТЕРИТОРІЇ РОЗУМНОГО ДОМУ	45
3.1.Програмні методи розпізнавання людини	45
Висновок до третього розділу	53
4. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ	54
Висновок до четвертого розділу	66
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДЦІЇ.....	68
Список використаної літератури.....	69
5 Додатки.....	73
Додаток 1	73
Додаток 2	76
Додаток 3	77
Додаток 4	81
ABSTRACT	88

ВСТУП

Актуальність теми. З розвитком електронних приладів та бездротових технологій з'явилась можливість розвитку приладів, керованих дистанційно. Це в свою чергу призвело до швидкого розвитку системи розумного дому. Швидкий розвиток системи і різноманітність приладів, що можна включити до розумного дому призвели до швидкого росту популярності даної технології.

Тим часом з початку 21-го століття промисловість і кількість промислових викидів у повітря стрімко зростає. До промислових забруднень повітря у великих містах свій вклад у загрози додають природні катастрофи у вигляді лісових пожеж. Також загрозу являє така звична річ як домашній пил. Довга взаємодія з забрудненим повітрям призводить до тяжких наслідків для здоров'я. У 2020 році до нагальних загроз та алергенів що знаходяться у повітрі у вигляді мікроскопічних частинок, що можуть надходити від повітря не належної якості додався вірус. Тож особливо актуальним у 20х роках 21-го століття є питання фільтрація повітря від забруднень пиловими частинками. Пріоритетними для фільтрації є частинки розмірами менше 1 мікрона, так як саме до цього діапазону розмірів відносяться віруси, що передаються повітряно-крапельним шляхом.

Водночас частинки розміром 5-10 мкм часто являють собою пил або волокна, що при вдиханні або проковтуванні мають тенденцію подразнювати дихальні шляхи та викликати алергію.

Не зважаючи на те, що повітряні фільтри вже достатньо розповсюджені – особливості їх розміщення часто негативно впливають на їх ефективність роботи. Тому прилад розглянутий в даній роботі, що орієнтований на можливість встановлення додатковим модулем у системи розумного дому або як додаток до звичайних кондиціонерів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація була підготовлена відповідно до науково-дослідного плану кафедри

електронних пристроїв та систем Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського.

Мета і завдання досліджень. Метою дослідження є вивчення роботи електростатичного фільтру, коронного розряду, запропонувати конструкцію електростатичного фільтру, що буде ефективно утримувати частинки пилу заданого діаметру. Для досягнення поставленої задачі необхідно:

1. Проаналізувати існуючі конструкції повітряних фільтрів.
2. Визначити частинки пилу, що мають пріоритетне значення у фільтрації.
3. Запропонувати конструкцію меншого електростатичного фільтру ніж існуючі нині аналоги та створити його фізико-топологічну модель. Провести дослідження у рамках даної моделі для визначення ефективності роботи даної моделі. Визначати найбільш ефективний та безпечний режим роботи.

Об'єкт дослідження — коронний розряд.

Предмет дослідження — вплив напруги коронного розряду і розмір пилових частинок на ефективність фільтрації пилових частинок у електростатичному фільтрі.

Методи дослідження. Для фільтрації повітря від забруднень заданого розміру було обрано електростатичний фільтр з пластинчастою формою електродів. Даний тип повітряного фільтра використовує коронний розряд. Для дослідження ефективності фільтрації пилових частинок різного діаметру було обрано фізико-топологічне моделювання даного електричного фільтру.

1. Аналіз літератури за темою впливу частинок у повітрі на стан здоров'я людини, бібліографічний аналіз електростатичних фільтрів, аналіз існуючих моделей повітряних фільтрів для визначення можливостей для покращення пристрою.

2. Комп'ютерне фізико-топологічне моделювання електростатичного фільтру запропонованої конструкції для вивчення ефективності його роботи.

3. Визначення режимів роботи запропонованого електростатичного фільтру шляхом порівняння та аналізу його роботи за різних режимів роботи, що визначаються напругою, яка подається на іонізуючий електрод.

Наукова новизна отриманих результатів. Полягає у визначенні особливостей фільтрації мікроскопічних пилових частинок при вдосконаленні конструкції електростатичного фільтру. Відносно більш безпечного фільтра для використання у закритих приміщеннях порівняно зі стандартними озонуючими електростатичними фільтрами.

Практичне значення одержаних результатів.

- Створено комп'ютерну фізико-топологічну модель, що може бути модифікована для проведення лабораторних робіт з аналізу поведінки мікроскопічних частинок у електричному полі коронного розряду в залежності від напруги, що подається на електрод.

- Запропонована конструкція електростатичного фільтру може бути використана для створення фільтруючого модулю. Його використання в закритих приміщеннях в свою чергу має знезаражувати повітря від вірусів та алергенів, не підвищуючи суттєво концентрацію озону в приміщенні. Особливо важливим для сучасних реалій є можливість використання подібних знезаражувачів повітря для місць загального користування.

Особистий внесок здобувача. Збір та аналіз матеріалів по темі роботи. Обговорення результатів аналізу та конструкції виконувалось з науковим керівником. Створення фізико-топологічної моделі було виконано особисто, розрахунок в рамках моделі – з допомогою фахівців. Текст дисертації написаний особисто.

Публікації. Чадюк В.О., Бевза І.О., Майкут С. О. Моделювання електростатичного пластинчастого фільтру_// Мікросистеми, Електроніка та Акустика.– Київ.- 2021 (готується до публікації).

Структура та обсяг дисертації – дисертація складається з чотирьох розділів. Загальний обсяг – 99 сторінок, із яких 64 сторінки основного тексту,

містить 38 рисунків, 23 таблиці, 4 додатки, 41 використане джерело зі списку літератури.

1. АНАЛІЗ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Мікрочастинки у повітрі

1.1.1. Джерела пилу

Поняття пилу включає в себе широкий спектр частинок різного розміру і походження. До даного поняття включають частинки діаметром від 0,001 мкм до 150 мкм. Частинки, що входять до складу пилу поділяють за розміром на групу, наведені у табл 1.1 [1].

Таблиця 1.1.

Опис	Розмір частинок
частинки, що утворюються в процесі горіння	$D_p < 1\mu m$
частинки, що утворюються в результаті механічних процесів	$D_p > 1\mu m$
дихаючі частинки (здатні досягати альвеол)	$D_p < 2 - 3\mu m$
вдихувані частинки (здатні потрапляти в бронхи)	$D_p < 10\mu m$
частинки, окремо видимі неозброєним оком	$D_p > 10\mu m$

Домашній пил має властивість утворюватися навіть в рамках закритого приміщення в результаті людської роботи та життєдіяльності. У дослідженні Afshari та ін [2] показано, що найвища концентрація мікроскопічних частинок у повітрі спостерігається в результаті процесів горіння: горіння воскових свічок (241 000 частинок/ см³), сигаретний дим, ароматичні свічки, пиросос без мішка. Тоді як найменший показник генерації мікроскопічних частинок у повітря показало просування без пари на бавовняному простирадлі (550 частинок/ см³). Однак, окрім процесів горіння основними джерелами підвищення пилових частинок у повітря є електричні радіатори, смаження м'яса,

електронагрівач та електроплита. Вважається, що це пов'язано з нагріванням поверхонь, на яких вже присутній пил.

Також на концентрацію пилових частинок у повітрі впливає розміщення джерела пилу та джерела тепла. Так, в роботі Siamak та ін. [3] показано, що розміщення джерела тепла на висоті нижче 0,1 м або 0,5 м може впливати на середню концентрацію частинок у повітрі.

1.1.2. Вплив запиленого повітря

Пилові частинки мають властивість осідати у повітряних шляхах і з часом накопичуватись. Також пилові частинки часто само по собі є алергенами (наприклад: пилок). Однак окрім алергенів у складі пилу забруднене повітря з високою концентрацією частинок у повітрі призводить до розвитку інших захворювань як у дітей так і в дорослих.

Для дітей дихання забрудненим повітрям може нести такі наслідки як загострення вже наявних захворювань. Так, в роботі Сонга та ін. [4] показано, що в дітей віком 8-12 років, в яких вже діагностовано atopічний дерматит, можна спостерігати кореляцію між кількістю ультрадисперсних (0,01–1 мкм) частинок у повітрі і частотою появи свербіжу як симптому захворювання.

Окрім алергічних реакцій повітря не належної якості призводить до захворювань пов'язаних не лише з алергічними реакціями, а й до захворювань легень, серцево-судинних захворювань. Розвиток серцево-судинних захворювань пов'язують із розвитком легеневих захворювань що в свою чергу отже призвести до системних запалень в організмі. Розвиток запалень тим часом прискорює розвиток атеросклерозу та може вплинути на серцеву вегетативну функцію [5]. Особливо на гострі запалення легень або порушення їх функцій впливають концентрація частинок у повітрі, а також оксиди нітрогену у повітрі [6]. За загальним впливом на організм запилене повітря порівнюють із курінням. Не зважаючи на те, що куріння досі є більш

небезпечним ніж повітря не належної якості, однак і високі концентрації пилу в повітрі накладають додаткові ефекти, що сприяють розвитку захворювань.

1.2. Повітряні фільтри

1.2.1. Види повітряних фільтрів

Так як пил утворюється не лише в процесі життєдіяльності людини, а й при виробництві повітряні фільтри поділяють на промислові та побутові. На відміну від побутових фільтрів, промислові фільтри орієнтовні на очищення повітря від великої кількості пилу та/або шкідливих газів. Різниця у вимогах до фільтрів обумовлює і різницю в конструкції фільтрів.

Загалом для очищення повітря від забруднювачів використовуються різні фільтри: фільтри з сухими або вологими перегородками із фільтруючих матеріалів, електростатичні фільтри, інерційні, вихреві та інерційні фільтри.

Одними із популярних і ефективних конструкцій повітряного фільтру, що використовуються в промисловості є [7]:

- Фільтри з використанням перегородок (із сухих, сипучих або комбінованих перегородок). Недоліком вважається необхідність періодичної заміни окремих фільтруючих елементів і громіздкість самого фільтру.

- Електричні фільтри. Даний тип фільтрів (показаний на рис.1.1.) є найбільш ефективним і дає можливість осаджувати частинки розміром до десятих частин мікрометра та обробляти великі об'єми повітря за короткі відрізки часу.

Однак даний тип фільтрів осаджує частинки вибірково - лише ті, що мають низький питомий опір, що має компенсуватись іншими методами осадження. На рис. 1.1. наведені наступні позначення: 1 – регулятор напруги; 2 – підвищувальний трансформатор; 3 - високовольтний випрямляч; 4 – високовольтний кабель; 5 – заземлення; 6 – ізолятор; 7 – електрофільтр; 8-9 – коронуючі електроди.

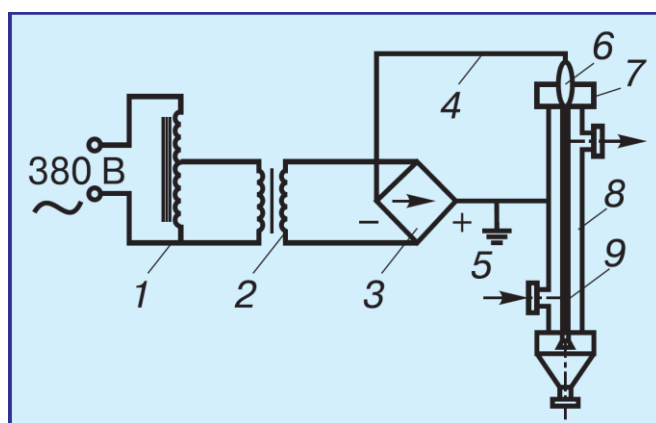


Рис.1.1. Схема типової електрофільтраційної установки з агрегатами електроживлення для очищення повітря від твердих і рідких частинок [7].

- Рукавчаті фільтри з регенеруючим пристроєм (рис.1.2.), де 1 – вхідний патрубок; 2 – щітки; 3 – вихідний патрубок; 4 – привід; 5,9 – підшипники; 6 – вал; 7 – корпус; 8 – рукав; 10 – бункер. Особливістю даного типу фільтрів є те, що частки осаджуються на внутрішній частині «рукава» по якому рухається повітря, а в момент коли «рукав» заповниться пилом відбувається регенерація фільтру за допомогою щіток всередині фільтру. Дана конструкція дозволяє ефективно видаляти з повітряного потоку частинки розміром 5-10 мкм і при цьому регенерувати фільтр на 94-97% [7].

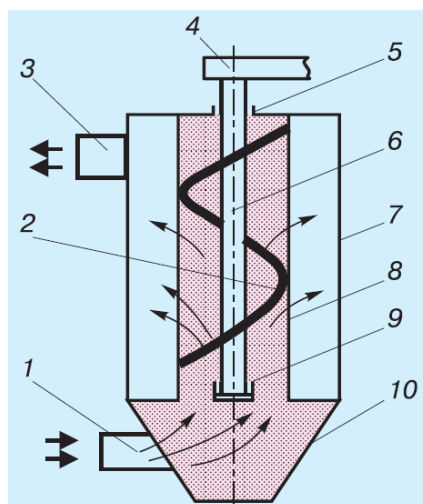


Рис.1.2. рукавний повітряний фільтр-пиловловлювач з регенеруючим пристроєм [7].

• Вихрединамічний повітряний фільтр-пиловловлювач (рис.1.3.), де 1 – впускний патрубок; 2 – конус; 3 – кільця; 4 – фільтруючі елементи; 5 – корпус; 6 – труба відводу; 7 – випускний патрубок; 8,10 – втулки; 9 – металічна сітка. Для нього є характерним конструкційно закручувати фільтрований потік повітря у тороїдальний вир А. Показані на рис. повітряні вири Б та В є зменшеними вирами на випадок засорення фільтруючих сіток і неможливості утворитися виру А. У випадку повного засорення сіток і неможливості утворення жодного виру – утворюється вир повітря, що очищує сітку від пилу. Таким чином даний тип фільтру регенерує [7].

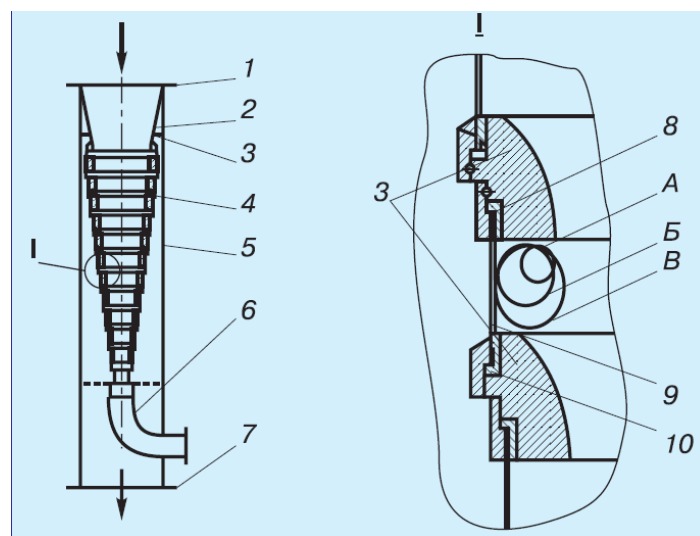


Рис.1.3. Вихрединамічний повітряний фільтр-пиловловлювач [8].

• Повітряний саморегенеруючий фільтр-пиловловлювач для тонкого очищення повітря (рис.1.4.), де 1 – бункер для пилу; 2 – крильчатка, 3 – двоопорний вал; 4 – корпус; 5 – фільтруючі елементи; 6 – відвідний патрубок; 7 – колектор для підводу; А – очищене повітря; Б – забруднене повітря. [9].

Даний фільтр має велику ефективність та високу пропускну здатність. Також є можливість регулювати товщину пилу на фільтруючих елементах або за допомогою валу 3, або утворюючи зміною тиску обернену продувку [7].

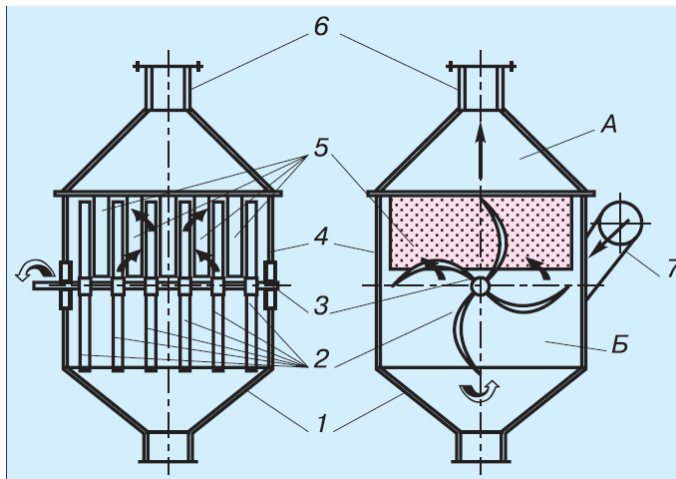


Рис. 1.4. Повітряний саморегенеруючий фільтр-пиловловлювач [9]

- Треступневий фільтр-пило-газовловлювач (рис.1.5.), де дифузор; 2 – жалюзійна решітка; 3 – опорна площадка; 4 – опорні стойки; 5 – розвантажувальний патрубок; 6 – шиберна засувка; 7 – зернистий матеріал; 8 – пластина-відсічка; 9 – бункер; 10 – корпус; 11 – жолоб; 12 – фільтруючий елемент; 13 – відсмоктуючий патрубок у вигляді конфузора; 14 – завантажувальна воронка; 15 – вентилятор; А – камера для очищеного повітря; Б – камера забрудненого повітря. Фільтри даного типу призначені для глибокого очищення повітря у технічних приміщеннях де в процесі роботи утворюються отруйні випари, гази та пилові частинки.

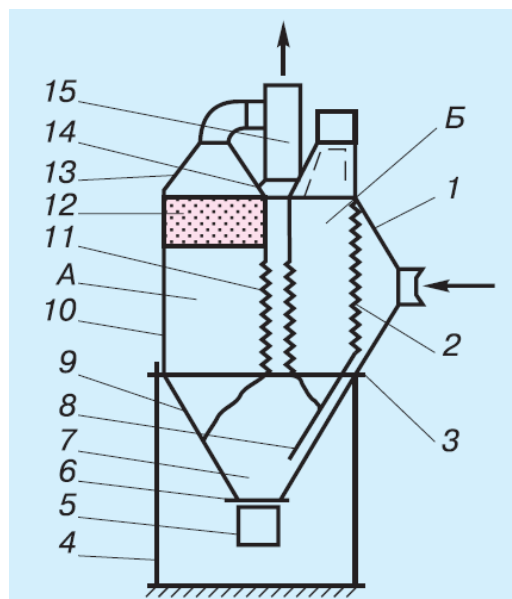


Рис. 1.5. Універсальний треступневий фільтр-пило-газовловлювач [10].

Спочатку даний фільтр затримує пилові частинки, потім пропускаючи повітря через сорбент очищує його від шкідливих газів. Фільтруючий елемент або регенерується продувкою, або замінюється [7].

- Повітряний фільтр-пило-газовловлювач з рухомими гранулами фільтруючого матеріалу показаний на рис.1.6., де 1, 12 – підшипникові вузли; 2 – верхня кришка; 3 – вертикальний циліндричний корпус; 4 – вирівнюючий пристрій; 5 – кріпильний елемент; 6 – обичайка; 7 – гранули; 8 – шнек з перфорованою стрічкою; 9 – конічне перфороване дно; 10 – цільне конічне дно; 11 – патрубок для відводу частинок; 13 – штуцер; 14 – форсунки для подачі рідини для промивки; 15 – входні патрубки; 16 – вихідні патрубки; 17 – вал шнека. [7]. Фільтрація відбувається за допомогою гранул, що частково знаходяться у середовищі з повітрям, що необхідно очистити, а частково – у промивній рідині. Регенерація гранул відбувається через рух гранул крізь рідину. Потім повітряний потік просушується крізь фільтруючий матеріал і виводиться.

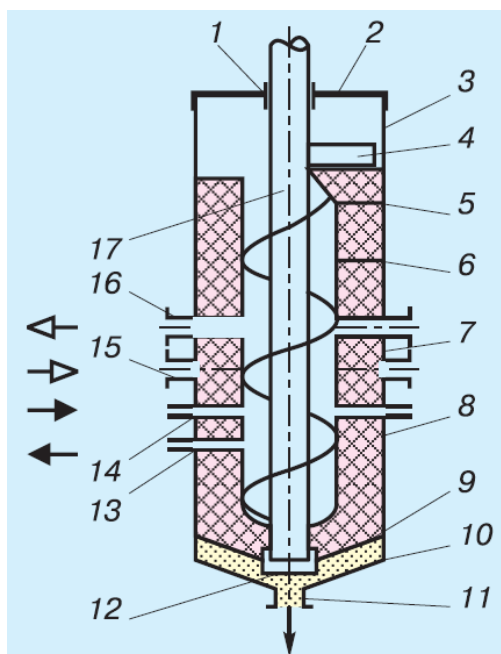


Рис. 1.6. Повітряний фільтр-пило-газовловлювач з рухомими гранулами фільтруючого матеріалу [11].

Найбільш поширеним типом повітряних фільтрів є електростатичний фільтр. Принцип роботи електростатичного фільтру полягає в розділенні потоку повітря та частинок, що в ньому знаходяться. Відбувається це за допомогою електричного поля, потрапляючи у яке частинка прямує до протилежно зарядженого електроду і осідає на ньому. Зазвичай у електрофільтрах цього типу на основному електроді горить коронний розряд, який саме і заряджає частинки у повітряному потоці.

В залежності від полярності напруги розрізняють негативну та позитивну корони. Для негативної корони характерно утворення більшої кількості озону порівняно із позитивною короною. Зважаючи на цю характеристику, для електростатичних фільтрів, що використовуються у приміщеннях зазвичай використовують позитивну корону [12].

Електростатичні фільтри в свою чергу також можна класифікувати: вони відрізняють між собою і за конструкцією, і за кількістю етапів зарядки і видалення частинок, як це запропоновано у Afshari та ін. [12]:

- Фільтри з одним етапом. В даному типі фільтрів для зарядки та для фільтрації частинок з повітряного потоку використовується один і той самий набір електродів. Через це заряджені частинки рухаються перпендикулярно до повітряного потоку. Характерним для фільтрів даної конструкції є використання високої напруги на нагнітаючому електроді – від 50 до 70 кВ. Зазвичай одноетапні фільтри використовують у промисловості [12].

- Фільтри з двома стадіями. Для фільтрів з двома стадіями відповідно використовують два набори електродів, в якому один набір електродів направлений на заряд частинок забруднювачів у повітрі, а другий набір електродів – на осадження заряджених частинок. В даній конструкції електростатичного фільтру нагнітаючий електрод (зазвичай дріт) знаходиться під напругою 13-13 кВ на віддаленні від 2,5 до 5,1 см від осаджуючих пластин [12].

Більш конкретно конструкцію двоетапного електричного фільтру розглянув Пірумов [13]. На рис. 1.7. Наведена принципова схема електричного фільтру. На наведеній схемі наявні дві зони: зона іонізації та зона фільтрації. Зону іонізації складають металеві пластинки між якими натягнуто коронуючі електроди у вигляді тонких проволоку.

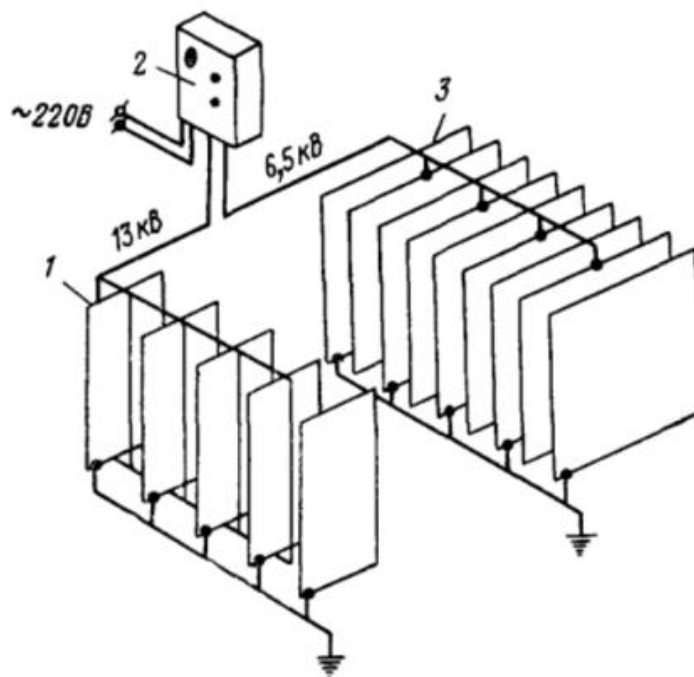


Рис. 1.7. Принципова схема двухзонального електричного фільтру [13].

1 – зона іонізації повітря, 2 – джерело живлення, 3 – осаджувальна зона.

Для наведеного фільтру характерним є напруга у 13-15 кВ на коронуючих електродах, і на осаджувальні пластини через одну подається напруга 6,5-7,5 кВ. Пластини, на які напруга не подається – заземлені. Відстань між осаджувальними електродами складає від 8 до 12 мм.

Повітря, що проходить крізь даний фільтр проходить спочатку крізь зону іонізації, де під дією напруги на коронуючих електродах утворилось неоднорідне електричне поле і коронний розряд. У цьому полі частинки, що знаходяться у повітряному потоці отримують заряд. Після цього повітряний потік вже із зарядженими частинками рухається до зони фільтрації, де заряджені частинки з повітря осаджуються на заземлених осаджуючих електродах.

При очищенні повітря з використанням коронного розряду можлива поява деякої кількості вільного кисню, що може або швидко рекомбінувати у звичайний кисень O_2 або утворити озон O_3 . Також за умов роботи електричного фільтру, що використовує коронний розряд можливе утворення деякої кількості окислів азоту. І окисли азоту і озон вважають небажаними побічними продуктами роботи електричних фільтрів і намагаються утворення даних з'єднань зменшити. Кількість даних побічних продуктів залежить від напруги, що подається на коронуючі електроди, що знаходяться в зоні іонізації. При напругах 80-100 кВ на електроді горить коронний розряд при якому утворюється доволі велика кількість озону та окислу азоту, які набагато перевищують допустимі норми для електричних фільтрів, що розраховані на роботу у закритих приміщеннях.

Пірумов пише [13], що напруга на коронуючих електродах не має перевищувати 13-15 кВ позитивного знаку для електрофільтрів, що розраховані не на промислове використання. Відомо [13], що при використанні негативної корони утворюється у 8 разів більше шкідливих побічних продуктів, що в свою чергу призвело до затвердження у нормах саме позитивної корони для використання у електричних фільтрах.

Окрім високих фільтруючих якостей електрофільтри, що працюють з використанням коронного розряду, мають додатковий дезодоруючий ефект через утворення атомарного кисню, що було згадано вище. Так як атомарний кисень та озон є окисниками – вони можуть вступити в окисну реакцію з органічними забрудненнями, що в той самий час є переносниками запахів. Тим самим використання електричних фільтрів з коронним розрядом може мати ефект не тільки очищення від твердих частинок, а й від запахів.

Однак за результатами дослідження, яке провів Waring та ін. [14] використання очищувачів повітря, що генерують озон є менш ефективним ніж використання іонізуючих фільтрів. При реакції озону із деякими органічними

сполуками у повітрі утворюються надтонкі частинки, продукти окислення, та ін., що потрапляють у повітряний потік на виході.

1.2.2. Моделювання електростатичних фільтрів

Моделювання електростатичних фільтрів дозволяє дослідити їх властивості без втрат часу та матеріальних затрат на реалізацію фізичного зразку та його дослідження [15].

Зазвичай конфігурація та вартість електростатичних фільтрів залежить від заданої ефективності збору частинок та від розміру частинок, що необхідно ефективно утримувати всередині фільтру. Ефективність фільтрації частинок у електростатичних фільтрах Дойч описав у формі експоненціального рівняння [16]. У рівнянні Дойча визначається конкретна площа збору та швидкість міграції частинок. Зазвичай саме ці фактори вважаються визначальними при моделюванні та розрахунку ефективності електростатичних фільтрів [17]. В подальшому рівняння Дойча зазнало модифікації: було проведено ряд експериментів по дослідженню коефіцієнта дифузії [18], електричного дрейфу [19], характеристик продуктів горіння у повітрі [20] та інших правок та додатків [21] [22] [23]. Найбільш часто використовують версію запропоновану Matts та Öhnfeldt [24].

Теоретичний розрахунок швидкості руху частинок у повітряному середовищі запропонований Дойчем не враховує електричних властивостей електростатичного фільтру. Тому фізико-топологічне та математичне моделювання електростатичних фільтрів дає можливість отримати значення ефективної швидкості міграції частинок. В статтях з прогнозуванням ефективності роботи електростатичних фільтрів розглядали різні властивості золи [25], поведінка заряду [26], шорсткість електродів [27], електрогідродинамічний потік [28] та структуру осаджувача [29].

Існує багато спрощених моделей електричних фільтрів, де розглядаються лише окремі явища. Так Ортіс та ін. [30] зменшили кількість досліджуваних

параметрів і шляхом аналізу загальної ефективності видалення частинок отримали модель для універсального прогнозування ефективності електростатичних фільтрів.

В моделі Сарадрі та ін. [31] було також враховано гравітаційну складову. Важливу роль в осадженні гравітація відіграє для частинок розміром більше 500 нм [32]. У роботі Ванга та ін. [33] також показано, що гравітація відіграє важливу роль при осадженні частинок. В математичних моделях рідко враховується осадження частинок з урахуванням електростатичного притягання [34] [35].

Часто моделі використовують для корекції вже існуючих моделей для більш точного прогнозування забору та осадження частинок у електростатичних фільтрах і порівнюють з результатами реальних дослідів для корекції результатів [36].

1.3. Особливості коронного розряду

Коронний розряд відносить до не термічних газових розрядів, що утворюється навколо електродів з малим радіусом кривизни поверхні. Геометричні властивості коронного розряду обумовлюють і водночас обмежують області з високим рівнем іонізації біля електроду.

При утворенні коронного розряду виділяють зону іонізації (саме коронний розряд) та зону коронного розряду. В цій зоні іони доволі високий рівень електричного поля, що в свою чергу обумовлює рух іонів у газі в напрямку силових ліній поля. Утворені іони мають той самий знак заряду, що і коронний розряд. Швидкість руху цих іонів досягає такої швидкості, що при зустрічі з нейтральними молекулами газу, що знаходяться у повітрі – вибивають з них електрони, що знаходились на зовнішніх зонах. [13]

В результаті подібної взаємодії утворюється лавиноподібний іонізуючий потік, який в направляється у бік протилежно зарядженого електрода. Як результат взаємодії із зарядженим потоком іонів – частинки, що знаходяться у

повітряному потоці при зустрічі з іонами отримують їх заряд і також починають рухатись до зарядженого осаджувального електроду. За Пірумовим [13] швидкість руху частинки до електроду обумовлюється силою отриманого заряду. Заряд, що отримує частинка в свою чергу залежить від електромагнітних сил, що діють на іони: ступінь поляризації частинок, електростатичним відображенням, відштовхуванням однойменних зарядів.

Коронні розряди в свою чергу Голдман та ін. [37] поділяють за полярністю активного електроду на позитивну, негативну, біполярну корону, корону змінну або високочастотну. В залежності від знаку заряду важливих іонів коронні розряди можна поділити на уніполярні або біполярні.

Для всіх підтипів коронного розряду характерним є наявність зони іонізації та область можливого дрейфу між областю іонізації та областями з низьким електричним полем. Областями з низьким електричним полем можуть виступати пасивні електроди заземлені або які порівняно з напругою на коронуючому електроді мають низьке електричне поле.

Для зон дрейфу між електродом активним та електродом пасивним зазвичай іони та електрони взаємодіють із іншими, нейтрально зарядженими частинками, там самим заряджаючи їх. Іони в уніполярному типі коронного розряду зазвичай мають ту саму полярність заряду, що й коронний розряд.

За Голдманом [37] поведінку області дрейфу при коронному розряді можна описати як великий нелінійний резистор, включений послідовно з областю іонізації. З урахуванням даного фактору, вважається, що додаткові стабілізуючі опори не потрібні.

Висновок до першого розділу

В результаті аналізу науково-технічної роботи було визначено пріоритетну групу фільтрації для частинок, що знаходяться у повітрі і вдихання яких несе найбільше шкоди: це віруси, волокна, пліснява та пилок. Для обраних частинок характерними є розміри менше 0,01 мкм і 5-10 мкм.

Аналіз існуючих повітряних фільтрів показав, що одними із найбільш ефективних повітряних фільтрів є електрофільтри, що використовують коронний розряд. Було обрано електростатичний фільтр з пластинчастою формою осаджувальних фільтрів. Однак з урахуванням досліджень про більшу ефективність іонізуючих фільтрів в порівнянні з фільтрами на коронному розряді було прийнято рішення провести власне дослідження і дослідити взаємозв'язок між напругою на коронуючому електроді і ефективністю повітряного фільтра.

Було розглянуто системи штучного інтелекту та комп'ютерного зору в якості рішення автоматизації роботи повітряного фільтру. А саме – активація фільтру лише за появи людини у зоні фільтрації, з метою підвищення ефективності роботи фільтру та підвищення безпеки здоров'я людини в умовах пандемії.

2. ЗАХИСТ ПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА РОЗУМНОГО ДОМУ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОГО ФІЛЬТРА

2.1. Конструкція електростатичного фільтру

В роботі представлена фізико-топологічна модель електростатичного фільтру для використання в системах розумного дому. Відмінністю запропонованої структури (показаної на рис.9) є відносно невеликі розміри порівняно з існуючими електростатичними фільтрами схожої конструкції.

Електростатичний фільтр, що досліджується, має пластинчасту конструкцію. На рис. 2.1 представлена 3D зображення електростатичного фільтру. Іонізатор являє собою мідний дріт діаметром 0,1 мм і довжиною 15 мм. Пластини, що виконують роль утримувача заряджених частинок пилу, мають такі розміри: ширина – 15 мм, довжина – 45 мм, товщина – 0,2 мм. Відстань між пластинчастими електродами складає 11 мм.

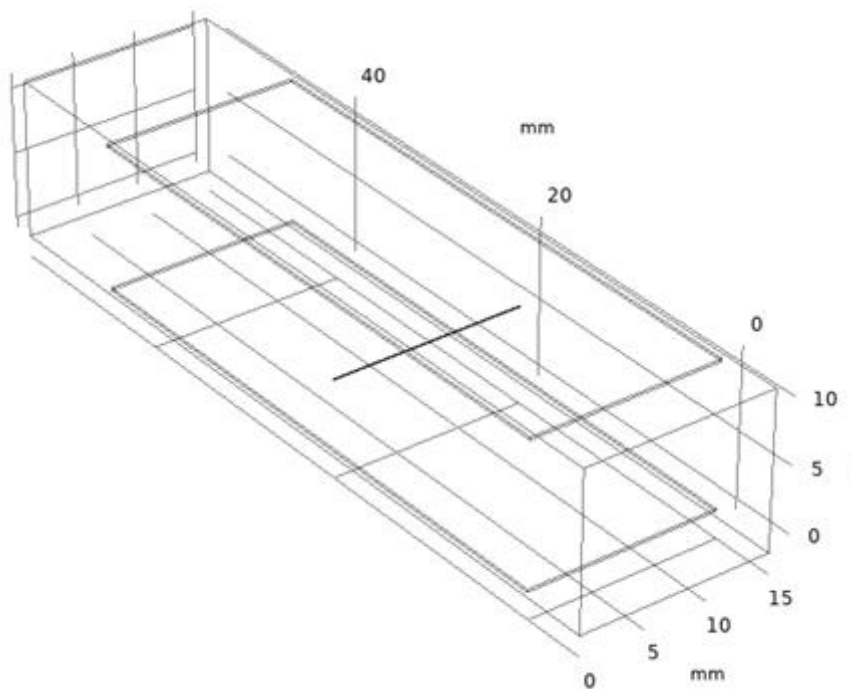


Рис. 2.1. Конструкція електростатичного фільтру.

Як показано на рис. 2.1 іонізуючий електрод розташовується між пластинчастих електродів на рівній відстані від кожного. Напруга на

центральному електроді в процесі дослідження змінювала значення від 12 до 20 кВ з кроком у 2 кВ. Пилові частинки рухаються в моделі електростатичного фільтру в газовому середовищі, що має наступні параметри:

- діелектрична проникність – 0 Сіменс/м,
- середня молярна маса - 0.02897 кг/моль,
- тиск – 1 атм,
- температура – 293,15 К.

Частинки, що імітували пил, мали такі розміри: 0,01; 0,025; 0,05; 0,2; 0,5; 1; 2; 5; 10 мкм. Обраний діапазон розмірів частинок дозволяє дослідити вплив різних напруг коронного розряду у фільтрі на основний склад пилу: спори, плісняву, лупу, бактерії, тютюновий дим, віруси.

Конструкція електростатичного фільтру з осаджувальними електродами у вигляді пластин представлена на рис.8. Електроди знаходяться у повітрі з тиском 1 атмосфера, температурою 293,15 К.

Пластинчасті електроди в даній моделі знаходились під потенціалом землі. На центральний електрод подавалась негативна напруга. В роботі досліджувався вплив напруги розряду на ефективність роботи фільтру. Для цього на іонізуючий електрод подавалась напруга від 12 кВ до 20 кВ з кроком 2 кВ. Ламінарний потік повітря рухався між пластинчастими електродами поперек іонізуючого.

2.2. Фізико-топологічна модель електростатичного фільтра

Загальна структура фізико-топологічної моделі розробленої в даній роботі наведена на рис. 2.2. В рамках даної моделі розраховуються ламінарний потік, коронний розряд, що утворюється поблизу центрального електроду, та розподіл заряду в просторі. Фізико-топологічна модель має такі вхідні параметри:

- провідність електродів - $5.998 \cdot 10^7$ См/м;

- провідність повітря - 0;
- опір електродів - $1.667 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$;
- рухливість іонів - $3 \cdot 10^{21} (\text{В} \cdot \text{м} \cdot \text{с})^{-1}$;
- густина просторового заряду - $1.0 \cdot 10^{-5} \text{ Кл/м}^3$;
- густина частинок на стінці вльоту - 2200 кг/м^3
- напруга пробою - $3 \cdot 10^6 \text{ В/м}$.

Результатами розрахунків були:

- розподіл електричного поля біля електродів;
- густина заряду на електроді;
- траєкторія руху частинок;
- ймовірність прольоту частинок.

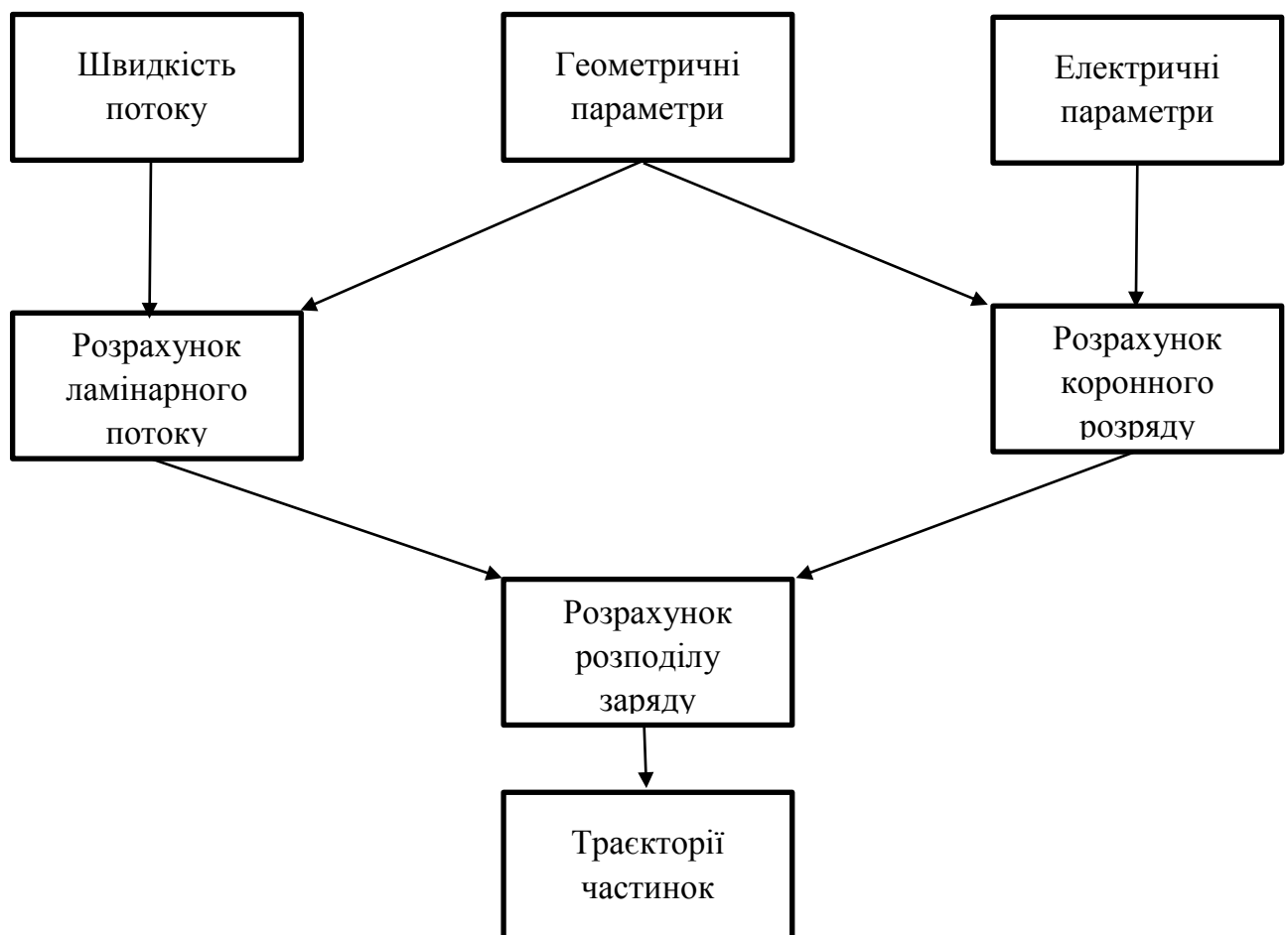


Рис. 2.2. Структура фізико-топологічної моделі електростатичного фільтра

Перенос заряду описується за допомогою рівняння збереження заряду, поєднаного з рівнянням Пуассона. Транспорт носіїв заряду включає дрейф в електричному полі та конвекцію. Для розрахунку використані наступні формули:

$$\nabla J = 0, \quad (2.1)$$

$$J = z_q \mu \rho_q E + \rho_q u, \quad (2.2)$$

$$\varepsilon_0 \nabla^2 V = -\rho_q, \quad (2.3)$$

де J – густина струму, z_q – число заряду, μ – рухливість носіїв заряду, ρ_q – густина просторового заряду, E – напруженість електричного поля, u – швидкість газового потоку, V – електричний потенціал, ε_0 – електрична стала. Рівняння переносу заряду:

$$\mu \left(\frac{\rho_q^2}{\varepsilon_0} - \nabla V \cdot \nabla \rho_q \right) + \nabla \rho_q \cdot u = 0 \quad (2.4)$$

Граничні умови:

Нормальна складова електричного поля на електроді, на якому утворюється коронний розряд, використовується як гранична умова рівняння Пуассона

$$\nabla^2 V = -\frac{\rho_q}{\varepsilon_0}. \quad (2.5)$$

Іншими граничними умовами рівняння Пуассона є $V = 0$ на збірних пластинах та нульовий заряд на вході та виході. Гранична умова для рівняння 4 передбачає знаходження просторової щільності заряду ρ_q на коронному електроді за допомогою множника Лагранжа

$$V - V_0 = 0. \quad (2.6)$$

Для отримання прогнозних фізичних результатів значення електричного поля на дроті використовується закон Піка

$$E_0 = 3 \times 10^6 \delta \left(1 + \frac{0.03}{\sqrt{\delta r_i}} \right), \quad (2.7)$$

де E_0 - електричне поле пробою, δ - густина газу, нормована до густини газу для атмосферного тиску 101325 Па і температури 293,15 К, r_i - радіус коронного електрода.

Розрахунок ламінарного потоку використовується для визначення швидкості та тиску потоку

$$\rho(\nabla u)u = \nabla \left[-pI + \mu(\nabla u + (\nabla u)^T) \right] + F_{EHD}, \quad (2.8)$$

де μ - динамічна в'язкість, ρ - густина потоку, p - тиск, а F_{EHD} - електрогідродинамічна сила, яку знаходять як

$$F_{EHD} = \rho_q E. \quad (2.9)$$

Положення частинок обчислюються шляхом вирішення рівнянь руху другого порядку для компонентів вектора положення частинок, з урахуванням другого закону Ньютона,

$$\begin{aligned} \frac{dq}{dt} &= v, \\ \frac{d}{dt}(m_p v) &= F_t, \end{aligned} \quad (2.10)$$

де q - положення частинки, v - швидкість частинки, m_p - маса, а F_t - загальна сила, що діє на частинку.

Сила опору F_D описується моделлю Каннінгема-Міллікана-Девіса

$$F_D = \frac{1}{\tau_p S} m_p (u - v), \quad (2.11)$$

де τ_p - час відгуку швидкості частинки, який визнається як

$$\tau_p = \frac{4\rho_p d_p^2}{3\mu C_D Re_r}, \quad (2.12)$$

де ρ_p - густина частинок, d_p - діаметр частинок, C_D - коефіцієнт опору, а Re_r - відносне число Рейнольдса, яке задається виразом

$$Re_r = \frac{\rho|u - v|d_p}{\mu}, \quad (2.13)$$

і S - коефіцієнт корекції опору, визначений як

$$S = 1 + Kn \left(C_1 + C_2 \exp \left(-\frac{C_3}{Kn} \right) \right), \quad (2.14)$$

де усі величини у формулі (14) є безрозмірними коефіцієнтами.

Електрична сила F_e , що діє на частинки, визначається як

$$F_e = eZE, \quad (2.15)$$

де e - елементарний заряд, а Z - число накопичених елементарних зарядів на кожній частинці.

Заряд, накопичений на частинках, обчислюється за моделлю Лоулеса

$$\tau_c \frac{dZ}{dt} = \begin{cases} R_f + f_a & \text{для } (|u_e| \leq |u_s|) \\ R_d f_a & \text{для } (|u_e| > |u_s|) \end{cases}, \quad (2.16)$$

де τ_c - характерний час заряджання, причому

$$\tau_c = \frac{e^2}{4\pi\rho_q\mu k_B T_i}, \quad (2.17)$$

де k_B - стала Больцмана, а T_i - температура іонів; R_f та R_d - безрозмірні швидкості заряду, обумовлені польовим та дифузійним переносом. Ці швидкості знаходять як

$$R_f = \frac{u_s}{4\epsilon_0} \left(1 - \frac{u_e}{u_s} \right)^2, \quad (2.18)$$

$$R_d = \frac{u_e - u_s}{\exp(u_e - u_s) - 1}, \quad (2.19)$$

де

$$u_e = \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r_p k_B T_i}, \quad (2.20)$$

$$u_s = 2w_e \frac{\epsilon_{r,p}}{\epsilon_{r,p+2}}, \quad (2.21)$$

$$w_e = \frac{er_p |E|}{k_B T_i}. \quad (2.22)$$

У формулах (2.20), (2.21) та (2.22) $\varepsilon_{r,p}$ – це відносна діелектрична проникність частинок, f_a – це функція, яка використовується для об'єднання швидкостей дифузії та польового заряду; ця функція визначається як

$$f_a = \begin{cases} \frac{1}{(w_e + 0.475)^{0.575}} & \text{для } (w_e \geq 0.525) \\ 1 & \text{для } (w_e < 0.525) \end{cases}. \quad (2.23)$$

2.3. Результати моделювання

В результаті проведеного моделювання було розраховано траєкторії руху частинок при 12 кВ для різних діаметрів приведених на рис. 2.3 – 2.9. З отриманих результатів можна побачити залежність між розміром частинок та їх поведінкою у електричному полі, створеному біля центрального електроду, на який подається напруга 12 кВ. На рис. 2.3 приведена траєкторія руху частинок діаметром 0,01 мкм.

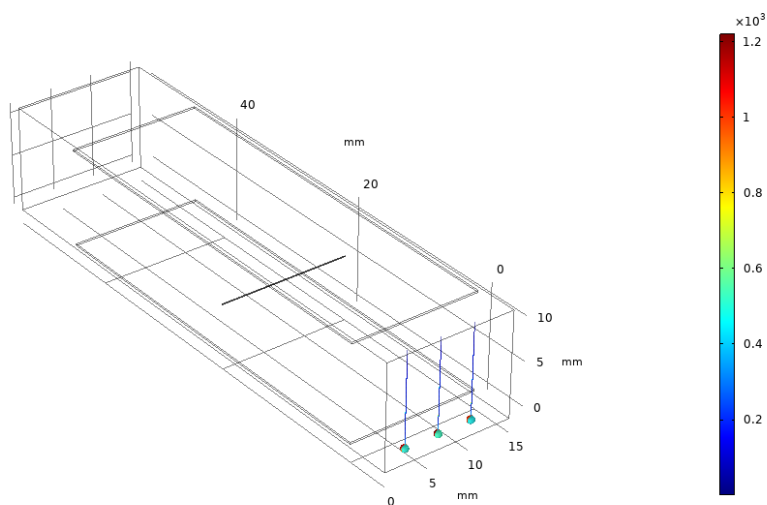


Рис. 2.3. Траєкторія руху частинок в електрофільтрі розміром 0,01 мкм при напрузі 12 кВ.

Частинки розміром 0,01 мкм за розміром відповідають вірусам, що знаходяться у повітряному середовищі. Отже при моделюванні і розрахунку траєкторій руху частинок ми можемо побачити, що віруси які знаходяться у повітряному потоці, що рухається крізь повітряний фільтр даної конструкції

затримується вже на вході у фільтр силою електричного поля. З цього можна зробити висновок що вже при напрузі у 12 кВ даний електростатичний фільтр можна використовувати в якості обеззаражуючого приладу.

Для частинок розміром 0,01 мкм траєкторія руху у повітряному фільтрі є однаковою для всіх отриманих вимірів: як при напрузі 12 кВ частинки затримуються електричним полем, так і при напругах 14 кВ, 16 кВ, 18 кВ та 20 кВ – частинки затримуються ще до вльоту у простір між пластинчастими електродами лише завдяки електричному полю, утвореному коронним розрядом.

Для частинок розміром від 0,025 мкм до 1 мкм розраховані траєкторії приведені на рис. 2.4 – 2.8. Приведені траєкторії частинок показують розраховану траєкторію руху у площині електростатичного фільтру для бактерій та тютюнового диму.

Для траєкторії руху частинок діаметром 0,025 мкм, що показана на рис. 2.4 характерна повна фільтрація у електричному полі при напрузі 12 кВ. Частинки вже здатні подолати електричне поле і потрапити у площину повітряного фільтру і осісти на пластинчастих електродах.

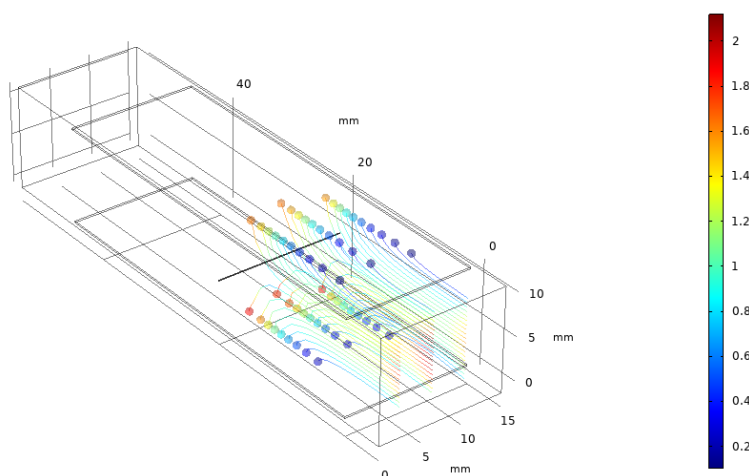


Рис. 2.4. Траєкторія руху частинок в електрофільтрі розміром 0,025 мкм при напрузі 12 кВ.

Однак для частинок, що мають розмір 0,05 мкм як видно з рис. 2.5 частинки у площину повітряного фільтру далі ніж частинки розміром 0,025 мкм, що

обумовлюється їх масою та розміром. Також для частинок розміром 0,05 вже є вірогідність частково пройти крізь фільтр. З чого можна зробити висновок, що сили електричного поля утвореного напругою 12 кВ для заряду та утримання на осаджувальних пластинах частинок розміром 0,05 мкм вже недостатньо.

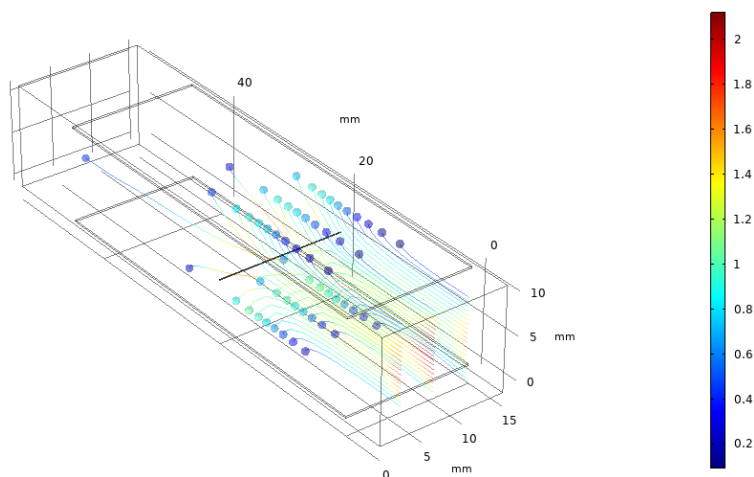


Рис. 2.5. Траєкторія руху частинок в електрофільтрі розміром 0,05 мкм при напрузі 12 кВ.

На рис.2.6. показано розраховану траєкторію руху частинок розміром 0,02 мкм у площині електричного фільтру за напруги 12 кВ. На рис. показано, що порівняно з частинками з розміром 0,05 мкм – частинки розміром 0,2 мкм затримуються на пластинчастих електродах пізніше. Також вірогідність прольоту крізь фільтр для частинок даного розміру вища, тобто ефективність фільтрації частинок за даної напруги є не високою.

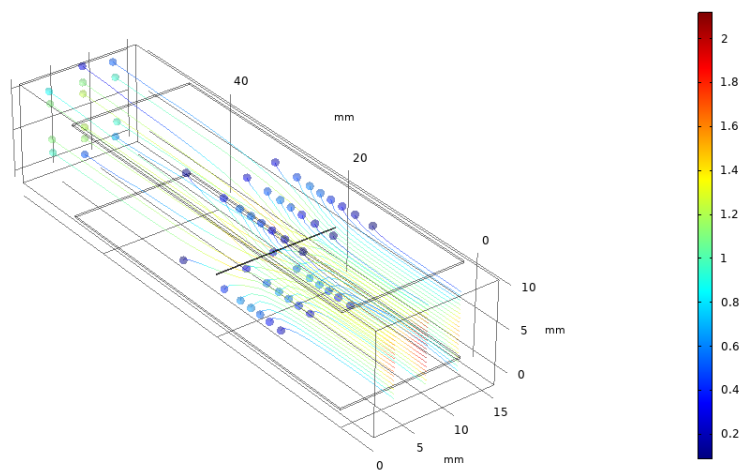


Рис. 2.6. Траєкторія руху частинок в електрофільтрі розміром 0,2 мкм при напрузі 12 кВ.

Для частинок розміром 0,5 мкм характерною є траєкторія польоту схожа з частинками розміром 0,2 мкм, однак вірогідність прольоту в даної підгрупи нижча. Як видно на рис.2.7 частинки розміром 0,5 мкм також затримуються доволі повільно і встигають пролетіти половину площини повітряного фільтру перш ніж більша частина осяде на пластинчастих електродах.

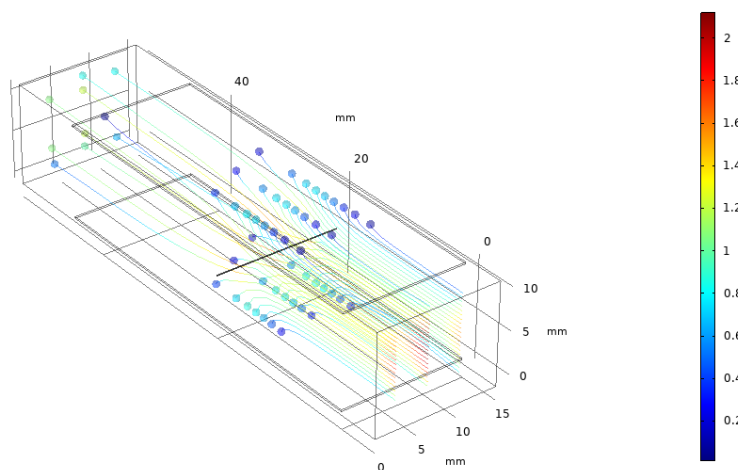


Рис. 2.7. Траєкторія руху частинок в електрофільтрі розміром 0,5 мкм при напрузі 12 кВ.

На рис. 2.8 показано розраховану траєкторію руху в площині електрофільтру частинок розміром 1 мкм. З нього видно, що більша частина забруднень, що переносяться у повітряному потоці затримується на пластинчастих електродах.

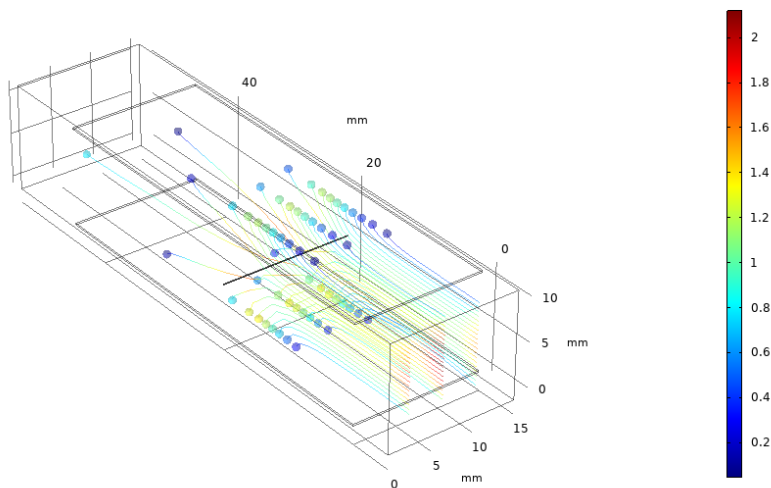


Рис. 2.8. Траєкторія руху частинок в електрофільтрі розміром 1 мкм при напрузі 12 кВ.

Частина заряджається доволі повільно і є вірогідність, що певний відсоток частинок розміром 1 мкм пролетить крізь фільтр, однак можемо бачити, що порівняно із частинками розміром 0,5 мкм вірогідність прольоту крізь фільтр нижча.

Із розрахованих траєкторій прольоту частинок у електричному полі утвореному при напрузі 12 кВ можемо побачити, що частинки розміром 2 мкм, 5 мкм та 10 мкм заряджаються та затримуються у повітряному фільтрі на осаджувальних електродах повністю. Траєкторії цих частинок наведено на рис. 2.9 та 2.10.

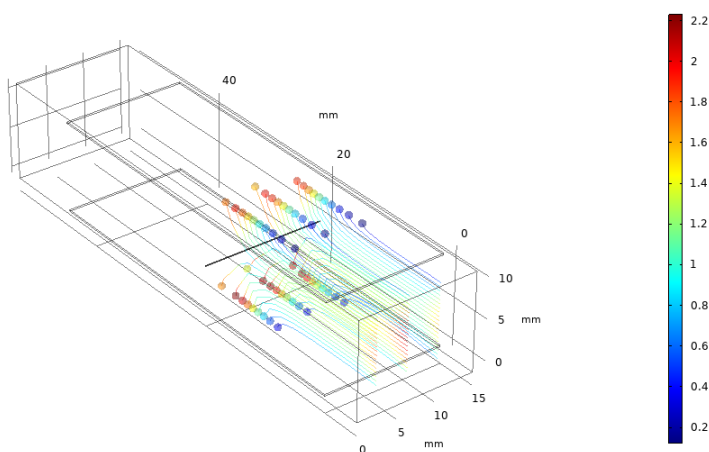


Рис.2.9. Траєкторія руху частинок в електрофільтрі розміром 2 мкм при напрузі 12 кВ.

Порівнюючи наведені на рис 2.9 та 2.10 траєкторії руху частинок бачимо, що шлях прольоту у електростатичному фільтрі довший для частинок розміром 2 мкм, а для частинок розміром 5 та мкм траєкторії майже ідентичні. І усі частинки заадних розмірів можуть бути затримані та відфільтровані. Розмірам частинок, розглянутих на рис 2.9 та 2.10 відповідають бактерії, лупа, пліснява, волокна та пилок.

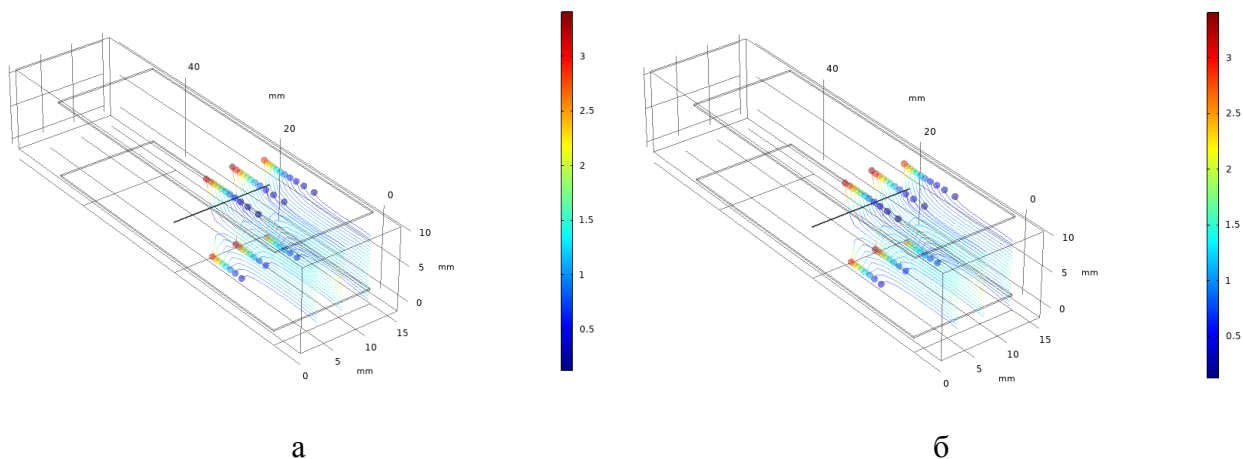


Рис. 2.10. Траєкторія руху частинок в електрофільтрі розміром (а) 5 мкм та (б) 10 мкм при напрузі 12 кВ.

Аналогічно було проведено розрахунок траєкторій руху частинок при напрузі 14 кВ. На рис. 2.11 зображено траєкторію руху частинок розміром 0,025 мкм. Бачимо, що дані частинки затримуються у електростатичному фільтрі та осідають на пластинчастих фільтрах повністю. Подальші розрахунки показали, що частинки даного розміру ведуть себе аналогічно і при подальшому підвищенні напруг (при 16 кВ, 18 кВ та 20 кВ) траєкторія частинок майже не змінювалась.

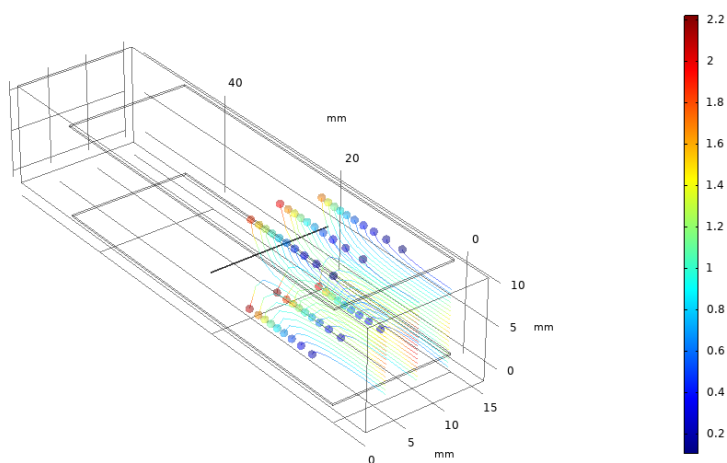


Рис. 2.11. Траєкторія руху частинок в електрофільтрі розміром 0,025 мкм при напрузі 14 кВ.

При напрузі 14 кВ траєкторія руху частинок розміром 0,05 мкм мала вигляд представлений на рис 2.12. Бачимо, що на відміну від траєкторії при 12 кВ частинки при 14 кВ усі відхиляються від своєї початкової траєкторії та затримуються на осаджувальних пластинах вже на середині шляху, що в свою чергу відповідає розміру повітряного фільтру.

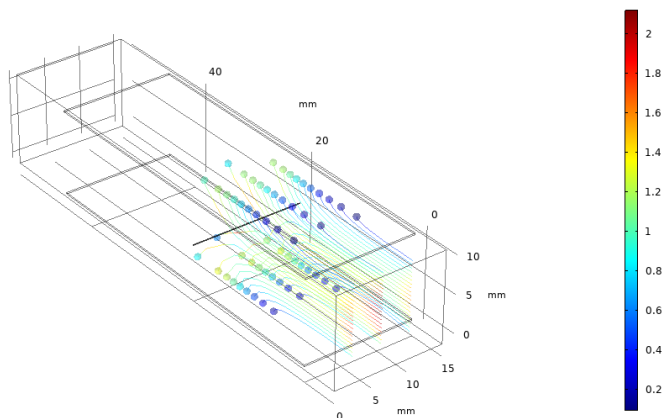


Рис. 2.12. Траєкторія руху частинок в електрофільтрі розміром 0,05 мкм при напрузі 14 кВ.

На рис. 2.13 показано траєкторію руху частинок розміром 0,2 мкм, де видно, що не всі частинки утримуються на пластинчастих електродах. На частину забруднень сили електричного поля недостатньо щоб зарядити та відхилити частинки від початкової траєкторії, що призводить до недостатньо якісної фільтрації повітряного потоку.

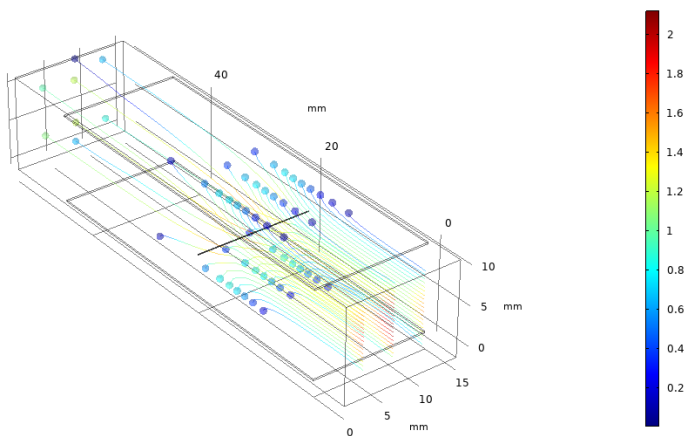


Рис. 2.13. Траєкторія руху частинок в електрофільтрі розміром 0,2 мкм при напрузі 14 кВ.

На рис. 2.14 (а) показано, що частинки розміром 0,5 мкм також можуть проходити крізь фільтр при напрузі 14 кВ на центральному електроді. Тоді як на рис.2.14 (б) частинки розміром 1 мкм вже відфільтровуються повністю. При підвищенні напруги на центральному електроді до 16 кВ, 18 кВ, 20 кВ – траєкторія частинок розміром 1 мкм майже не змінюється і відповідає наведеній на рис. 2.14 (б).

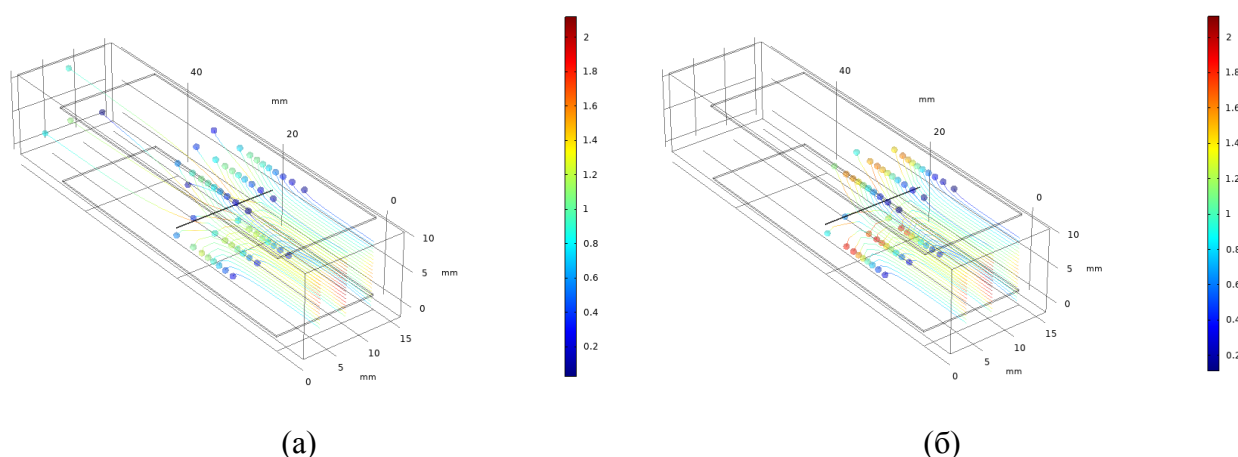


Рис. 2.14. Траєкторія руху частинок в електрофільтрі розміром (а) 0,5 мкм та (б) 1 мкм при напрузі 14 кВ.

На рис. 2.15 приведено розраховану траєкторію руху частинок розміром 2 мкм.

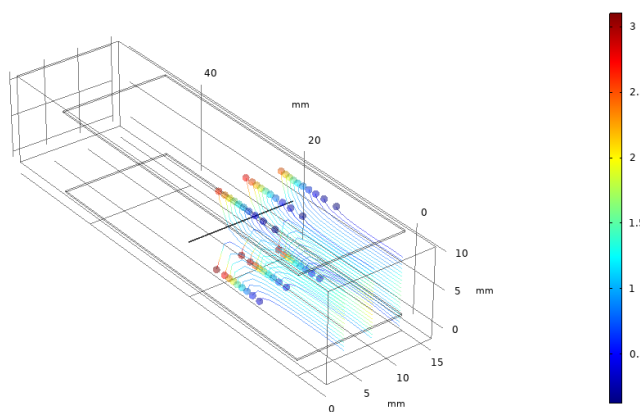


Рис. 2.15. Траєкторія руху частинок в електрофільтрі розміром 2 мкм при напрузі 14 кВ.

За результатами подальших розрахунків при підвищенні напруги (16 кВ, 18 кВ, 20 кВ) траєкторія частинок цього розміру майже не змінюється. Аналогічну траєкторію руху мають також частинки розміром 5 мкм та 10 мкм як при напрузі 14 кВ, такі при підвищенні до 16 кВ, 18 кВ, 20 кВ.

При підвищенні напруги на центральному електроді до 16 кВ можемо побачити зміну траєкторії руху частинок діаметром 0,05 мкм приведену на рис. 2.16. На відміну від траєкторій наведених вище при напругах нижче частинки даного розміру вже не проходять крізь електростатичний фільтр, а притягуються до пластинчастих електродів. При подальшому підвищенні напруги на коронуючому електроді форма траєкторії майже не змінюється і відповідає траєкторії наведених на рис.2.16.

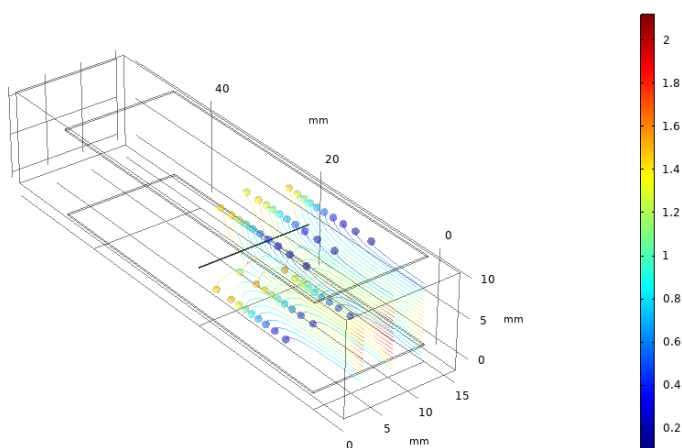


Рис. 2.16. Траєкторія руху частинок в електрофільтрі розміром 0,05 мкм при напрузі 16 кВ.

При підвищенні напруги на центральному електроді до 16 кВ можна спостерігати зміну траєкторії, наведену на рис. 2.17 для частинок розміром 0,2 мкм. Як видно з наведеної траєкторії – напруги для повної фільтрації частинок даного розміру недостатньо для їх заряду, відхилення і утримання на пластинчастих електродах.

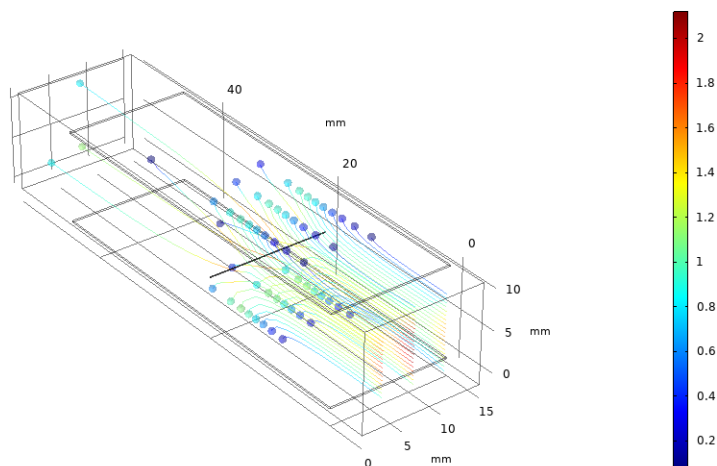


Рис. 2.17. Траєкторія руху частинок в електрофільтрі розміром 0,2 мкм при напрузі 16 кВ.

На рис. 2.18 наведено розраховану траєкторію руху частинок розміром 0,5 мкм при напрузі 16 кВ. Бачимо, що в даному випадку напруги вже достатньо для заряду і утримання частинок, що призводить до фільтрації частинок заданого діаметру з повітряного потоку. При подальшому підвищенні напруги до 18 кВ та 20 кВ частинки з діаметром 0,5 мкм також повністю відфільтровуються даним електрофільтром і траєкторія майже не відрізняється від наведеної на рис. 2.18

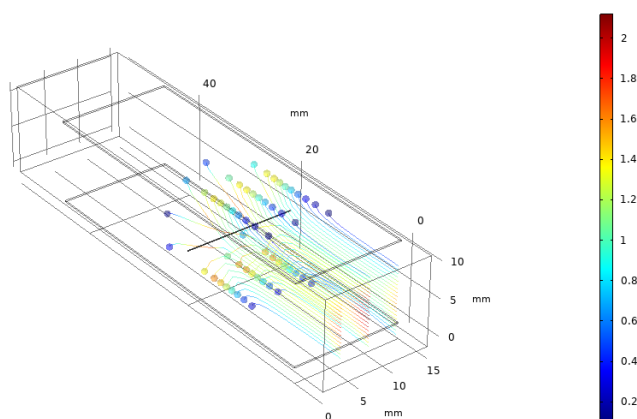


Рис. 2.18. Траєкторія руху частинок в електрофільтрі розміром 0,5 мкм при напрузі 16 кВ.

При підвищенні напруги на коронуючому електроді було також розраховано траєкторію прольоту частинок. Траєкторію руху частинок розміром 0,2 мкм наведено на рис. 2.19. Як видно з наведеного нижче зображення – повної фільтрації частинок заданого розміру теж не відбувається, хоча більша частина все ж затримується на осаджувальних електродах.

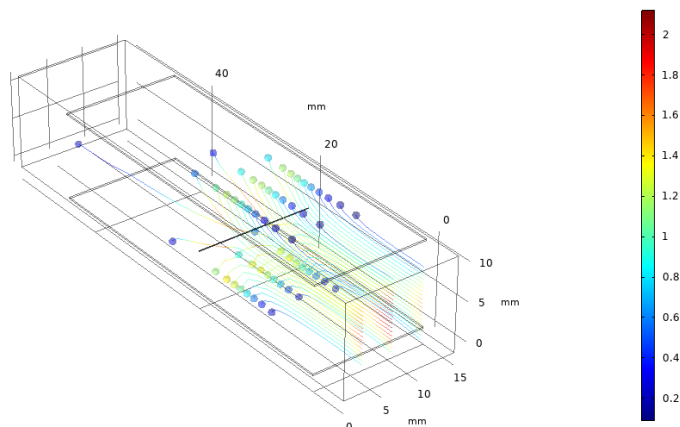


Рис. 2.19. Траєкторія руху частинок в електрофільтрі розміром 0,2 мкм при напрузі 18 кВ.

На рис.2.20 наведено траєкторію руху частинок розміром 0,5 мкм при напрузі 18 кВ, де видно, що частинки порівняно з траєкторією при 16 кВ зменшили шлях всередині електрофільтру і притягаються до пластинчастих електродів швидше. При підвищенні напруги до 20 кВ траєкторія частинок більше не змінювалась і була аналогічною до траєкторії на рис. 2.20.

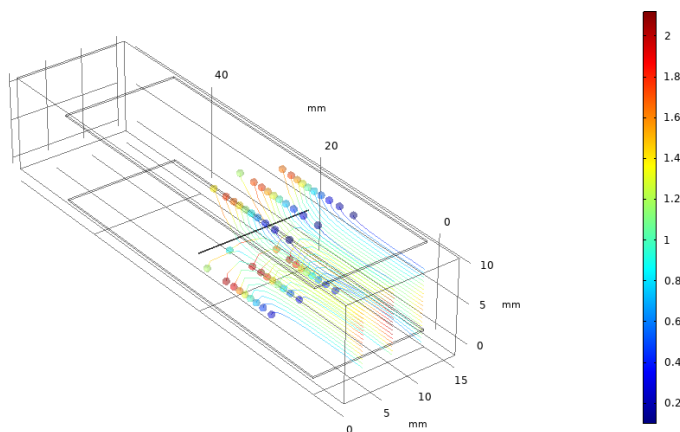


Рис. 2.20. Траєкторія руху частинок в електрофільтрі розміром 0,5 мкм при напрузі 18 кВ.

Було розраховано траєкторії руху частинок при напрузі 20 кВ. На рис. 2.21 наведено траєкторію руху частинок розміром 0,2 мкм. З наведеної траєкторії бачимо, що підвищення напруги на центральному електроді до 20 кВ досить для повної фільтрації частинок розміром 0,2 мкм.

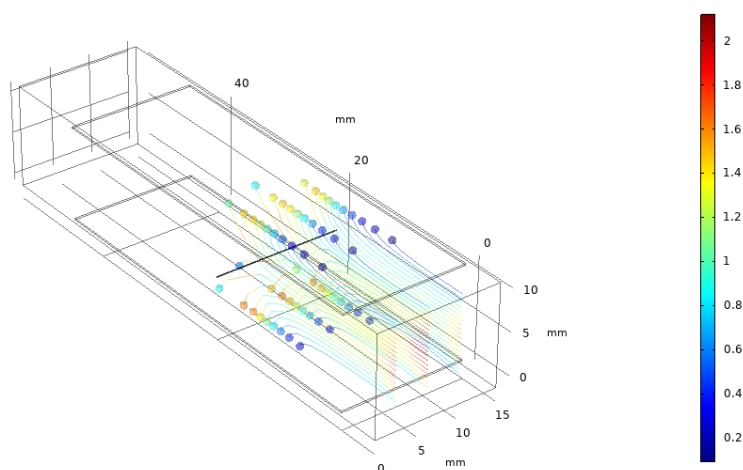


Рис. 2.21. Траєкторія руху частинок в електрофільтрі розміром 0,2 мкм при напрузі 20 кВ.

2.3. Аналіз результатів моделювання

В результаті проведених вище розрахунків траєкторій частинок при різних напругах на центральному електроді було побудовано вірогідність прольоту частинки в залежності від її розміру для кожної напруги (рис. 2.22).

З отриманих результатів бачимо, що частинки розміром від 0,01 до 0,025 мкм та в діапазоні 2-10 мкм відфільтровуються вже при напрузі 12 кВ. Це дає можливість використовувати дану робочу напругу в конструкції фільтру, що досліджується, у місцях загального користування з метою зменшення концентрації вірусних частинок у повітрі. Це дозволить зменшити вірогідність передачі вірусів в закритих приміщеннях громадського користування. Також напруга 12 кВ дозволяє затримувати у фільтрі найбільші частинки пилу, що в

свою чергу відповідає волокнам та пильці. До волокнистого типу пилових частинок також відносяться волокна таких матеріалів як азбест, скловата або кам'яна вата [38]. В свою ж чергу відносно низька робоча напруга дозволяє максимально зменшити генерацію озону в коронному розряді.

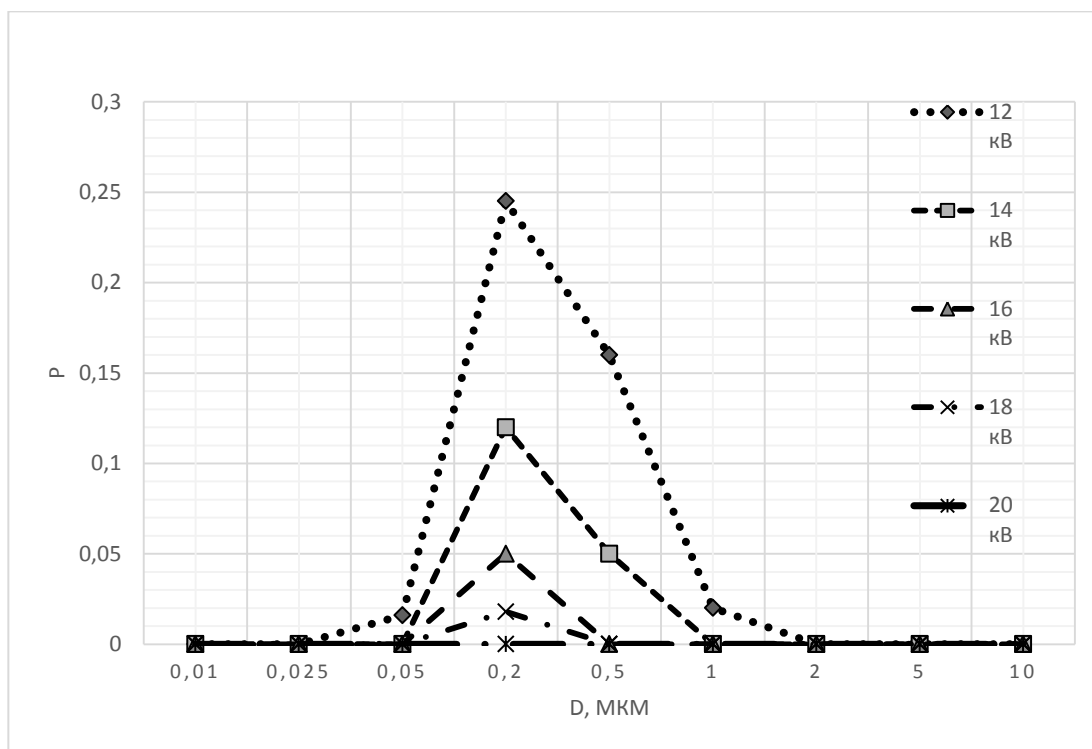


Рис. 2.22. Вірогідність прольоту частинки в залежності від розміру при напругах 12кВ, 14кВ, 16 кВ, 18 кВ, 20 кВ.

При підвищенні напруги розряду на іонізуючому електроді зменшується діапазон розмірів частинок, що проходять крізь фільтр, а також знижується вірогідність їх проходження.

Як показано на рис. 2.22 При напрузі 14 кВ електрофільтр починає затримувати частинки розміром менше ніж 0,05 мкм та частинки пилу розміром 1-10 мкм. Даний режим роботи електрофільтра дає можливість втримувати також частину бактерій, що знаходяться в повітрі та частинки людської лупи та часток шкіри, що мають розміри 1-5 мкм. Це дозволяє позбавити повітря не лише алергенів та вірусів, а й більш ефективно очищати повітря від пилу.

При напругах 16 кВ та 18 кВ на іонізуючому електроді затримуються частинки пилу розміром 0,01-0,05 мкм та 0,5-10 мкм. При даних напругах стає можливим частково відфільтровувати тютюновий дим і продукти горіння. При напрузі в 20 кВ електрофільтр повністю покриває діапазон розмірів пилових частинок, очищуючи повітря з максимальною ефективністю.

Для коронного розряду що запалюється в даному електростатичному фільтрі, було експериментально знято ВАХ, що приведена на рис.2.23.



Рис. 2.23. Вольт-амперна характеристика коронного розряду на іонізаторі електростатичного фільтру.

При зростанні напруги на іонізуючому електроді, як видно з рис.2.23, зростає і струм коронного розряду, відповідно з підвищенням напруги на електроді збільшується зовнішній діаметр корони, що в поєднанні з пилом, який накопичується на осаджуючих електродах, підвищує вірогідність виникнення пробою між іонізуючим електродом та осаджуючими електродами. Виникнення пробою в електростатичному фільтрі призводить до локального пилового «вибуху», а також можливого виходу з ладу схеми живлення електростатичного фільтру. Дане явище призводить до зниження ефективності фільтру так як піднімає у повітряний потік відфільтровані до цього пилові частинки або взагалі до виходу з ладу електростатичного фільтру.

Гранично допустима концентрація (ГДК) озону, згідно санітарних норм, є 0,2 мг/м³. В роботі [39] приведені результати експериментального дослідження залежності концентрації озону в атмосферному повітрі та кисні від струму та швидкості потоку. Нескладні розрахунки показують, що представлений в роботі електростатичний фільтр буде генерувати озон з концентрацією менше ГДК при струмові розряду менше 0,4 мА. З рис. 2.22 видно, що такий режим роботи електростатичного фільтру забезпечується при напрузі на іонізуючому електроді менше 13 кВ.

Висновок до другого розділу

З результатів моделювання та експериментального дослідження коронного розряду можна зробити висновок, що для запропонованої конструкції електростатичного фільтру рекомендованим є використання напруги 12 кВ, для очищення повітря від вірусів та алергенів. При підвищенні напруги на центральному електроді збільшується кількість частинок, що затримуються фільтром. Однак подальше збільшення напруги може призводити до локальних іскрових пробоїв та збільшення генерації озону, що є небажаним в побутових приміщеннях.

3. КОНТРОЛЬ ПРИЛЕГЛОЇ ТЕРИТОРІЇ РОЗУМНОГО ДОМУ

3.1. Програмні методи розпізнавання людини

Зазвичай для розпізнавання образів з фотографій або відео – для реалізації функції комп'ютерного зору – застосовують нейронні мережі.

Нейронна мережа – це програмне забезпечення, що описує математичну модель, яка в свою чергу базується на засадах роботи біологічних нейронних мереж. Нейронні мережі на даний момент використовуються не лише для систем комп'ютерного зору, а і для машинного перекладу, розпізнавання людської мови, для розпізнавання звуків та музики, прогнозування, тощо.

Загалом нейронні мережі прийнято розділяти на звичайні нейронні мережі та згорткові нейронні мережі. Звичайні нейронні мережі вважаються «класичною» формою, де кожен вузол є як входом так і виходом для кожного пласту. Всі нейрони з'єднані між собою. У кожного нейрона на вході зазначені ваги для кожного з аргументів, що подаються. Також кожен з нейронів у мережі має свій порог активації. В залежності від вагів та порогу активації приймається рішення, що виводиться на виході нейронного вузла: 0 або 1.

Згорткові нейронні мережі розраховані на розпізнавання образів і тому мають спеціальну архітектурну будову. Спеціалізованість архітектури згорткових нейронних мереж полягає в тому, що кожен елемент зображення має бути помножений на ядро згортки. Результати множення елементів зображення на ядра нейронної мережі в результаті додаються та записуються у схожу позицію, що була у вхідного зображення. Поступово область зображення, яке аналізується нейронною мережею збільшується. Це дозволяє з часом знаходити все більше закономірностей і образів на зображенні – рухаючись від часткового елемента зображення до цілого. [40]

Необхідним елементом роботи нейронної мережі є її попереднє навчання на даних. Для цього завантажуються бази даних з образами, які нейронна

мережа повинна навчитись розпізнавати. В залежності від кількості рівнів нейронної мережі та від кількості даних для навчання буде залежати якість розпізнавання об'єктів. В результаті навчена нейронна мережа буде розбивати зображення на частини (їх кількість буде обмежена кількістю вузлів мережі) і порівнює із тими частинами зображень, на яких мережа тренувалась до того.

Однак для того щоб нейронна мережа могла почати розпізнавати образи на зображеннях необхідно ці образи позначити. Розмітка зображень може відбуватись як автоматично, так і в ручному режимі.

Розмітку зображень можна також умовно розділити на дві групи: навчання на основі моделей або навчання на базах даних. При навчання нейронної мережі на моделях вивчається закономірність між візуальними характеристиками та їх значенням. Тоді як при навчанні за допомогою баз даних нейронна мережа одразу створює масив можливих поміток на основі анотацій, що вже були у базі даних. Однією із небезпек безмежного покращення нейронної мережі шляхом збільшення кількості вузлів є запам'ятовування нейронною мережею бази даних, замість навчання на ній. Для створення нейронної мережі, яка буде розпізнавати образи існує загально прийнятий алгоритм представлений на рис. 3.1.

Дуже часто для створення нейронних мереж в якості баз даних або баз моделей використовують проекти з відкритим кодом. До таких проектів з відкритим кодом відносяться: LabelImg, CVAT, YOLO та ін.

LabelImg – засіб з відкритим кодом, що використовує модуль програмування Python і застосовується для маркування і розмітки зображень, щоб полегшити процес навчання нейронної мережі.

CVAT – інструмент також з відкритим кодом, який дозволяє створювати розмітку на зображеннях та відео. Даний інструмент дає можливість використовувати такі засоби як класифікація та сегментація зображення.

YOLO – це відкрита бібліотека моделей, яку можна використовувати для навчання власної нейронної мережі.



Рис. 3.1. Алгоритм створення нейронної мережі.

В якості програмного рішення для реалізації функції автоматизації було обрано використання функцій комп'ютерного зору.

В результаті огляду існуючих програмних рішень було знайдено декілька, на основі яких було розроблено власне рішення для поставленого завдання. Як результат роботи було висунуто перше програмне рішення на мові python, яке використовувало обробку зображення лише з використанням включених бібліотек мови.

Дане програмне рішення використовувало розпізнавання меж людського силуету методом аналізу зображення на предмет локальних максимумів і на підставі цього будувало цифровий скелет всередині розпізнаного силуету людини. Дане програмне рішення використовує такі бібліотеки мови python як `opencv` `numpy` та `argparse`. `Opencv` дає можливість працювати з зображеннями,

тоді як numpy та argparse в свою чергу дають можливість працювати із зображенням як із масивом даних і опрацьовувати цей масив даних математичними методами.

В результаті проведення тестування даного програмного рішення було з'ясовано, що зображення гарної якості з чіткими контурами людини розпізнається. Тестування відбувалось на статичному зображенні (рис. 3.2). Результатом роботи коду було розпізнавання людини на зображенні.

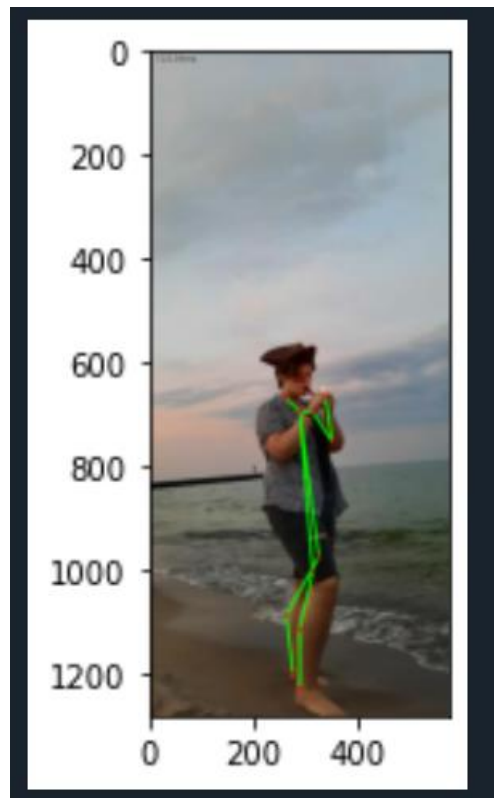


Рис. 3.2. Зображення розпізнано, виділена фігура, графічно позначені розпізнані частини тіла.

Пізніше було проведено тестування на потоковому відео з вебкамери. Результатами тестування програми на потоковому відео з веб камери показало, що розпізнавання фігури є не точним, виникає велика кількість помилок.

Наступним етапом тестування було проведення тестів на статичних зображеннях поганої якості, що в свою чергу було імітацією кадрів з відеозаписів з виробництва. Було виявлено що на зображеннях з поганою

якістю і не чіткими контурами - детектуванням контурів людини, а отже і детектування пози не відбувається. Так як програма використовує пошук локальних максимумів для визначення контурів тіла людини - було зроблено декілька етапів модифікації коду. Результатами обробки вхідного зображення були зменшення кількості шумів на зображенні, підвищення контрастності для полегшення детекції контурів людини. Було з'ясовано, що якість зображення матеріалів, які надаються для обробки компанією не є достатньою для розпізнавання даним програмними рішенням. Так як при графічній обробці зображень контури людини не були виявлені через низьку якість зображення і низький контраст тла та самої людини. Також було виявлено що перешкодою для виявлення контурів людини є їх недостатня чіткість – якщо людина знаходиться не у фокусі камери – людина не буде розпізнана (рис.3.3).

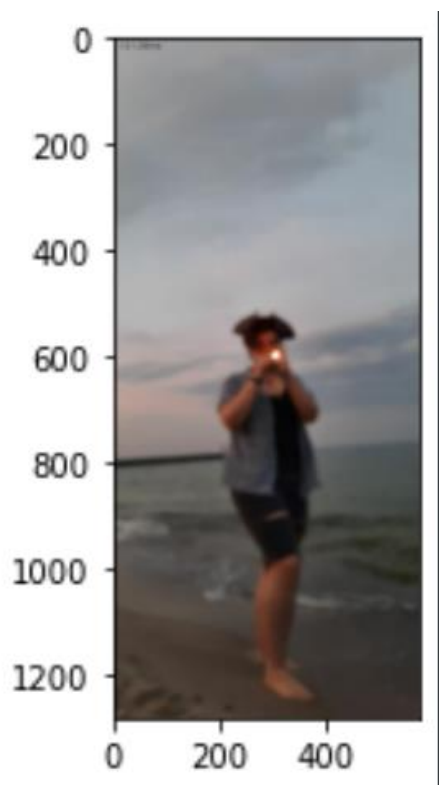


Рис. 3.3. Зображення не розпізнано: через недостатню чіткість контури не розпізнано, фігура виділена не була.

Лістинг програми наведено у додатку 1.

В результаті обговорення отриманих напередодні результатів з науковим керівником з практики було прийнято рішення використовувати нейронні мережі. Тож завданням для другого тижня практики було розробка програмного рішення на основі відкритої бібліотеки openpose. Дана відкрита бібліотека дає можливість використовувати вже навчені моделі нейронної мережі, що в свою чергу дає можливість обійти процес їх побудови і навчання.

Результатом роботи другого та третього тижнів практики було розроблене програмне рішення на мові Python, з використанням відкритої бібліотеки openpose, що розпізнавало людину як на зображенні так і на потоковому відео (рис.34) і на відео з пам'яті комп'ютера (рис.35).

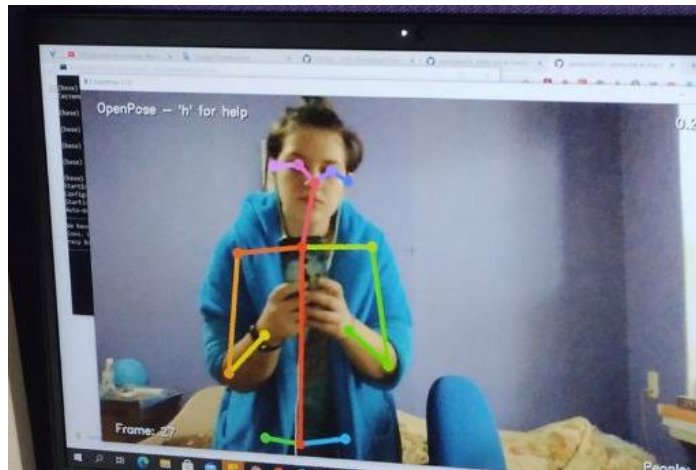


Рис. 3.4. Розпізнавання фігури з потокового відео з камери і графічне відображення розпізнаних частин фігури.



Рис. 3.5. Розпізнавання фігур і побудова графічного розташування розпізнаних частин тіла з відеозапису.

В результаті тестування даного програмного рішення було виявлено, що даний код розпізнає позу людини більш чітко ніж попереднє. Однак висока чутливість даної системи також могла бути визначена як недолік даної програми, так як відео матеріали, які компанія надає для обробки мають низьку якість, тож була велика кількість помилкових розпізнавань пози людини. Аналогічно попередньому програмному рішенню – результатом роботи даного коду є розпізнавання пози людини і побудова графічного скелету на основі пози людини. Було розпізнано окремо такі складові людини як її обличчя, було розпізнавання лівої і правої ніг та рук, а також тулубу. Детектування окремих частин тіла дає можливість виділити позу людини і за необхідності детектування певної заданої пози.

У порівнянні з попередніми результатами, код що використовує бібліотеку `openpose` має можливість працювати з відеоматеріалами низької якості і правильно визначати позу людини.

Однак висока кількість математичних операцій для центрального процесору при обробці відеозображення при роботі даного програмного рішення унеможлиблює його використання, так як потребує додаткового розширення обчислювальної потужності, що в свою чергу означає додаткові матеріальні витрати, які не є бажаними при обробці великої кількості зображень на підприємстві.

У роботі була розроблено код, що в результаті обробки відеопотоку з вебкамери виділяв певний фрагмент, обробляв його і виводив результати на екран (рис.36).

Лістинг програми наведено в додатку 2.

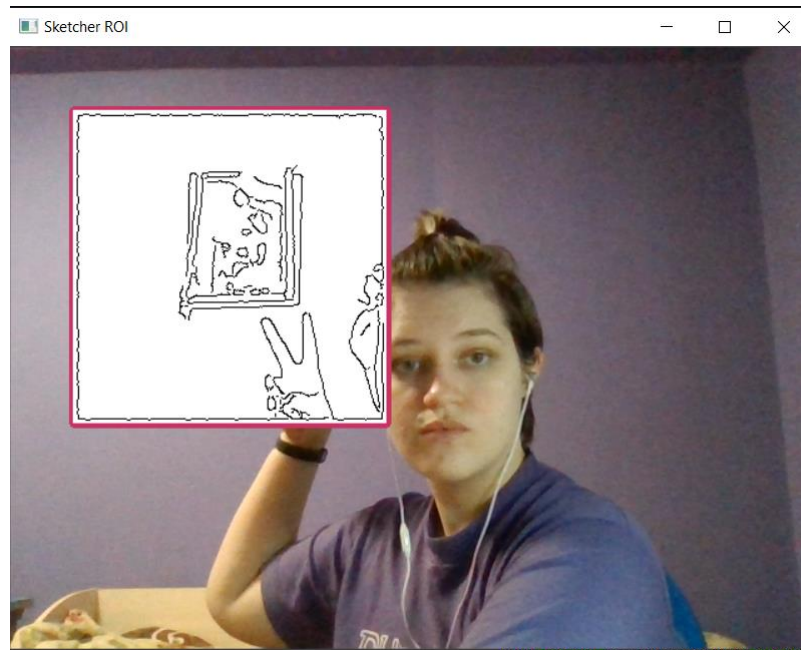


Рис. 3.6. Обробки відео потоку з веб камери, виділення області та обробка зображення лише всередині виділеної області.

Наступним завданням було розробка програмного рішення, що займались би розпізнаванням людини на зображенні поганої якості і обведенням людини у Bounding Box. Отриманий результат наприкінці тижня показав гарні результати виявлення людини на зображеннях (рис.3.7), також програма показала гарні результати на зображеннях з поганою якістю та поганим рівнем контрасту між людиною та фоном.

Лістинг програми наведено в додатку 3.



Рис. 3.7. Обробка зображення та виділення людини у Bounding Box.

Великий масив тренованих моделей YOLO, що були використані в даному коді для детекції об'єктів, дає можливість розпізнавати не лише людей, а й інші об'єкти, що в свою чергу дає потенціал використовувати дане програмне рішення не тільки для виявлення людей у зонах, що потребують підвищеного рівня контролю, а й техніки, тварин, тощо (рис.3.8).

Лістинг програми наведено в додатку 4.

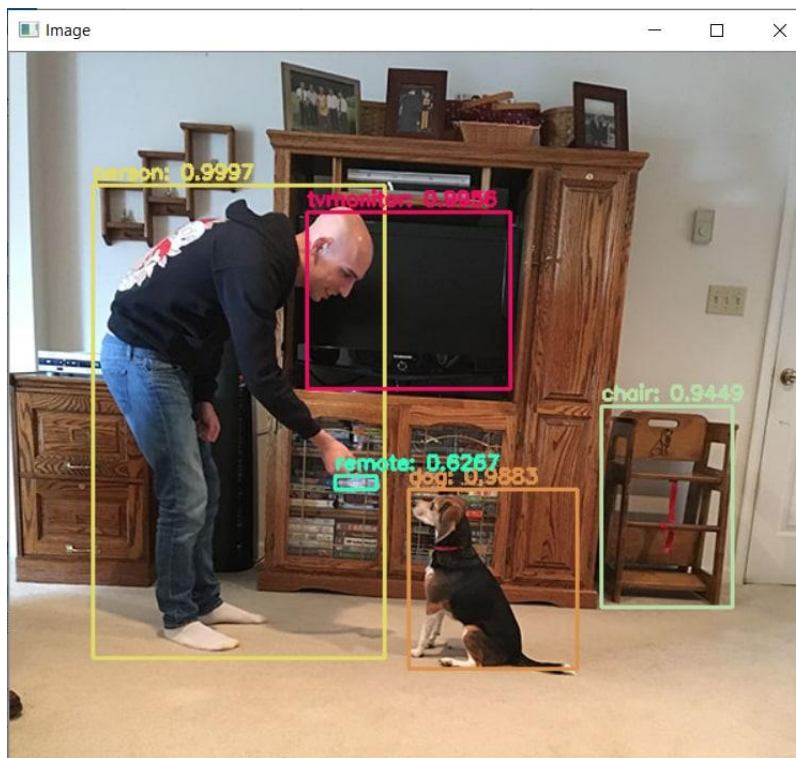


Рис. 3.8. Обробка зображення та виділення людини та інших об'єктів у Bounding Box.

Висновок до третього розділу

В результаті роботи було створено програмне рішення, що з використанням готової бібліотеки моделей може розпізнавати людину на потоковому відео з камери та обводить її у прямокутник. За допомогою даної програми можна виконати завдання автоматизації роботи фільтру за появи людини у приміщенні.

4. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ

Для розробки стартап-проєкту необхідним є виконання обов'язкових етапів розробки, таких як: визначення ринкових перспектив, принципи та графік організації виробництва, аналіз фінансового аспекту і аналіз ринку на предмет ризиків, а також розробка стратегії з просування стартап-проєкту серед інвесторів [41]. Етапи розробки стартап-проєкту наведені в таблицях нижче: табл. 4.1-4.22.

Зміст ідеї, напрямки застосування та вигоди для потенційних користувачів приведені у табл. 4.1.

Таблиця 4.1.

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Система очищення повітря за появи людини	1. Система розумного дому	Автоматизоване очищення, стерилізація та дезодорація повітря у домі при появі людини.
	2. Приміщення загального користування	Автоматизоване очищення повітря у громадських приміщеннях загального користування. Можливість використовувати систему очищення та дезінфекції повітря для зменшення кількості вірусів у місцях загального користування.

Використання автоматизованої системи очищення повітря дозволяє зменшити час використання фільтру, що в свою чергу зменшує використання електроенергії на період його роботи і підвищує час ефективної роботи «за потреби». Використання електричного фільтру в домашніх умовах та в умовах місць загального користування зменшить кількість захворювань шляхом зменшення концентрації шкідливих частинок у повітря. Особливо важливою є

можливість використання даного фільтру в період пандемії Ковід-19 як обеззаражуючого пристрою, що вмикається при появі людини так як вірус передається повітряно-крапельних шляхом у тому числі.

Слабкі та нейтральні характеристики проекту наведено у табл.4.2.

Таблиця 4.2.

№ п / п	Техніко- економічні характерис- тики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейт- ральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент 1	Конкурент 2			
1.	Торгівельна марка	Немає	Є	Є	+		
2.	Мобільність	Немає	Немає	Є		+	
3.	Автоматич- ність приладу	Є	Немає	Немає			+
4.	Можливість використо- вувати прилад для зназара- ження	Є	Є	Немає		+	
5.	Економіч- ність	Низька ціна	Середня ціна	Висока ціна			+

З урахуванням розглянутих вище характеристик товар можна вважати конкурентоспроможним, так як прилад за відносно низьку ціну може використовуватись як знезаражуючий пристрій, а тим самим пропонує більше функціоналу ніж в конкурентів.

В табл. 4.3 наведено технічний аудит проекту.

Таблиця 4.3

Технологічна здійсненність проекту				
№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Розробка фізико-топологічної моделі електростатичного фільтру	Пакет комп'ютерних програм для моделювання COMSOL	Наявні	Доступні
№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
2.	Розробка структурних схем повітряного фільтру	Пакети комп'ютерних програм та САПР	Наявні	Доступні
3.	Розробка електричних схем підключення повітряного фільтру	Пакети комп'ютерних програм та САПР	Наявні	Доступні
4.	Розробка структурно-алгоритмічних схем автоматичної роботи повітряного фільтру з засобами комп'ютерного зору	Пакети комп'ютерних програм та САПР	Наявні	Доступні

З даних в табл. 4.3. видно, що розробка і виготовлення проекту можлива і доступні. Всі необхідні програмні засоби доступні.

В табл. 4.4. наведено характеристику потенційного ринку для стартап проекту. Таблиця 4.4.

Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1.	Кількість головних гравців	4
2.	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	10500
3.	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4.	Наявність обмежень для виходу (вказати характер обмежень)	Конкуренція українських і закордонних виробників
5.	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Вимоги щодо безпечності та санітарних норм
6.	Середня норма рентабельності в галузі (або ринку), %	40

З інформації наведеної в табл. 4.4. галузь можна вважати привабливою для входу. Недоліком є наявність на ринку великої кількості українських та закордонних компаній та виробників, однак попит на очищувачі повітря є, а з урахуванням додаткових функцій, запропонованих за ціну нижчу ніж у конкурентів – очікується попит на запропонований товар.

Для характеристики потенційних клієнтів наведена табл. 4.5.

Таблиця 4.5.

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1.	Очищення повітря від вірусів, та алергенів. Покращення якості життя та зниження вірогідності захворюти	Користувачі системи розумного дому, громадські місця (ТРЦ, магазини, навчальні заклади, заклади харчування і т.д.)	Орієнтованість на різні цінові категорії та різні об'єми повітря, що потрібно очищувати	Простота та автоматичність роботи, економічність, ефективність

Отже, потенційними споживачами даного повітряного фільтру є користувачі розумного дому а також громадські заклади, що знаходяться у закритих приміщеннях і мають великий потік людей.

Фактори загроз для даного проекту наведені у табл. 4.6.

Таблиця 4.6.

Фактори загроз			
№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Конкуренція	Наявність аналогів на ринку	Зниження вартості продукту
2.	Застарівання технологій	Виникнення більш сучасних технологій у конкурентів	Оптимізація та осучаснення виробничого процесу
3.	Невисокий попит на продукт	Нижчий попит ніж очікувалося при запуску стартапу	Пошук нових сфер застосування продукту і розширення тим самим кола можливих клієнтів
4.	Вартість продукції	Підвищення вартості виробництва через збільшення витрат на закупівлю комплектуючих	Пошук дешевших аналогів у інших постачальників

З аналізу загроз можна побачити, що до основних загроз відноситься наявність конкуренції. Однак на випадок наявності загрози конкуренції та інших теоретичних загроз при виході на ринок було розроблено потенційні дії компанії для їх усунення.

В табл. 4.7. наведено фактори можливостей для проекту.

Таблиця 4.7.

Фактори можливостей			
№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Потреба в даному приладі	Актуальний та рентабельний прилад	Розширення виробничої зони та штату працівників, пошук нових клієнтів
2.	Ковід-19	Корисність системи для знезаражування	Збільшення кількості партій приладів
3.	Впровадження нових технологій	Модернізація виробничих процесів	Інвестиції у впровадження сучасних технологій, розширення функціоналу приладу
4.	Впровадження нових законів в країні	Спрощена процедура реєстрації нового приладу	Випуск нових приладів

Окрім факторів загроз, при виході на ринок можлива і поява можливостей, що не були враховані при розробці стартап проекту. В табл. 4.7. наведено теоретичні можливості, що можуть виникнути при виході на ринок. Однак компанія буде видко реагувати на нові умови і можливості для отримання вигоди.

Ступеневий аналіз конкуренції, що існує на ринку наведено у табл. 4.8.

Таблиця 4.8.

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку		
Особливості конкурентного середовища	Прояви даної характеристики	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Олігополія	В обраній сфері існує декілька компаній	Виробництво якіснішого товару за нижчою ціною
Міжнародна	В обраній сфері на міжнародному ринку є багато фірм	Спрощення процесу купівлі та використання для споживачів
Внутрішньогалузева	Фірми випускають прилади, які задовольняють одну потребу	Випуск приладу належної якості, та невисокої ціни
Цінова	Нижча ціна як вагомий критерій вибору	Підвищення якості приладу, не збільшуючи вартість для споживачів
Марочна	Визначає стандарти компанії	Реєстрація власної торгової марки, активна реклама

Для ринку повітряних електричних фільтрів характерними ознаками є ознаки олігополії, тоді як рівень конкурентної боротьби має риси міжнародної з внутрішньогалузевими ознаками. За видами конкуренція є товарно-видовою.

Аналіз конкуренції наведено у табл.4.9.

Таблиця 4.9.

Аналіз конкуренції в галузі за М.Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари замітники
	Xiaomi	Асортимент продукції у конкурентів	Об'єми поставок	Розмір закупок	Ціна та бренди конкурентів
Висновки	Немає монополії, конкуренція прийнятна	Можливість вийти на ринок за рахунок нової технології та з привабливішою ціною	Не диктують	Диктують вимоги до ціни, якості та відповідності санітарним вимогам	Великий вибір товарів-аналогів

В табл.4.10. наведено обґрунтування факторів конкурентоспроможності

Таблиця 4.10.

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1.	Ціна	Для переваги над конкурентами ціна повинна бути нижче ніж у аналогічних приладів
2.	Мобільність	Зменшення габаритів приладу, можливість переносити і підключати прилад до інших систем
3.	Наявність додаткового функціоналу	Можливість використання приладу не лише для проведення процедури знезараження і очищення повітря від алергенів, а і для прибирання неприємних запахів
4.	Час використання	Час використання є важливим параметром при великому потоці людей у приміщенні

Пропозиція порівняно низької ціни, широкого потенційного застосування та подовжений час роботи дає можливість вийти на ринок.

У табл. 4.11. наведено аналіз сильних та слабких сторін для електричного повітряного фільтру.

Таблиця 4.11.

Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін озono-терапевтичних приладів

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів						
			-3	-2	-1	0	1	2	3
1.	Ціна	19			+				
2.	Мобільність	17	+						
3.	Час використання	17	+						
4.	Наявність додаткового функціоналу	20				+			

Наявність переваг перед конкурентами на ринку дає можливість успішного виходу на ринок.

У табл. 4.12. наведено SWOT-аналіз стартап проекту

Таблиця 4.12.

SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: - Порийнятна ціна; - Мобільні габарити; - Час використання.	Слабкі сторони: - Відсутність впізнаваної марки.
Можливості: - Попит на прилад; - Простота у використанні; - Розширення функціоналу; - Якісне покращення основних параметрів.	Загрози: - Конкуренція; - Старіння технології; - Відсутність попиту.

Як результат проведення SWOT-аналізу можна сказати, що продукт має високу конкурентоспроможність на ринку.

В табл. 4.13. наведено альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

Таблиця 4.13.

Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1.	Розширення кола споживачів	60%	6 місяців
2.	Встановлення високої початкової ціни для отримання максимально можливого прибутку з меншого обсягу продажів товару	5%	6 місяців
3.	Вихід на зарубіжний ринок	30%	12 місяців

Після проведення аналізу альтернатив для впровадження продукту на ринок бачимо, що найбільш ефективним способом виходу на ринок є перший спосіб.

В табл.4.14. наведено вибір цільових груп потенційних споживачів

Таблиця 4.14.

Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтований попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота виходу в сегмент
1.	Користувачі системи розумний дім	Висока	70%	Висока інтенсивність	Висока
2.	Заклади громадського користування	Середня	50%	Середня інтенсивність	Середня
Обрані цільові групи: користувачі системи розумний дім					

В табл.4.15. визначено базову стратегію розвитку.

Таблиця 4.15.

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1.	Стратегія диференціації	Стратегія диференційованого маркетингу	Можливість проводити окрім очищення повітря від алергенів та запахів ще й знезараження	Стратегія спирається на диференціацію і на лідерство по витратах, у рамках цільового сегменту.

Для проекту для виходу на ринок було обрано стратегію диференціації та диференційованого маркетингу.

В табл. 4.16. наведено визначення базової стратегії для конкурентної поведінки на ринку.

Таблиця 4.16.

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект першим на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів чи забирати у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики у конкурентів та які?	Стратегія конкурентної поведінки
1.	Ні	Шукати нових споживачів	Ні	Стратегія диференціації

Так як даний прилад не є першим та унікальним на ринку, однак має переваги перед конкурентами було обрано стратегії диференціації.

Визначення стратегії позиціонування наведено в табл. 4.17.

Таблиця 4.17.

Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, що мають сформувати комплексну позицію власного проекту
1.	Надійність; Відповідність технічним вимогам;	Стратегія диференціації	Автоматичність, ціна	Автоматичність роботи, простота використання

За допомогою аналізу було обрано стратегію позиціонування на ринку.

В табл. 4.18. наведено визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Таблиця 4.18.

Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1.	Простота використання	Відсутність необхідності будь-якої кваліфікації для використання	Забезпечується за допомогою автоматизації роботи
2.	Автоматизованість роботи	Відсутність необхідності контролювати роботу приладу самостійно	Забезпечується системами комп'ютерного зору

З використанням ключових переваг буде розроблена реклама, яка буде розповсюджуватись серед потенційних споживачів.

В табл. 4.19. наведено опис трьох рівнів моделі товару

Таблиця 4.19.

Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
Товар за задумом	Автоматизований електростатичний фільтр		
Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх/Тл/Е/Ор
	Економічні	Нм	Вр
	Призначення	М	Тх
	Надійність	М	Тх
	Технологічні	М	Тх
	Безпеки	М	Тх
Товар підкріпленням із	Якість: технічні вимоги щодо встановлення кваліфікованим персоналом		
	Пакування: Прилад, інструкція для користувача		
	Поширення реклами		
Товар підкріпленням	Використання акцій як метод залучення покупців та/або збільшення кількості покупок		

В табл.4.20 описано визначення меж встановлення ціни

Таблиця 4.20.

Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень ціни на товари-замінники	Рівень ціни на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та середня межі на встановлення ціни на товар
1.	5000 грн	500-10000 грн	Високий	2000-3500 грн

В результаті аналізу ціни на продукти конкурентів було визначено верхню та середню межу ціни, що може бути встановлена на товар.

В табл. 4.21. наведено формули системи збуту

Таблиця 4.21.

Формула системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1.	Купівля нового обладнання для розширення спектру послуг	Логістика, гарантійне обслуговування, утилізація	Канал нульового рівня (без посередників)	Використовується власна система збуту. Компанія розробник самостійно займається продажем товару кінцевому покупцю

В даному випадку планується використання каналу нульового рівня – самостійний продаж.

В табл. 4.22. наведено концепцію маркетингових комунікацій

Таблиця 4.22.

Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки потенційних клієнтів	Канали комунікацій якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1.	Використання приладу для очищення повітря від алергенів та запахів	Інтернет, соціальні мережі, медичні виставки, рекламні статі	Автоматизованість роботи, вартість, можливість використання для знезаражування повітря	Інформування споживачів про більш вигідну пропозицію на ринку	Автоматизованість, невисока вартість
2	Використання приладу для знезараження	Інтернет, соціальні мережі, медичні виставки, рекламні статі	Наявність коронного розряду що дезінфікує повітря і затримує бактерії з повітряного потоку	Інформування споживачів про наявність додаткового функціоналу	Можливість використання для знезаражування невеликих предметів

Для комунікації з потенційними споживачами було обрано мережу інтернет та тематичні виставки. Основною метою маркетингової стратегії було обрано створення впізнаваного бренду серед споживачів.

Висновок до четвертого розділу

Після проведення аналізу ринку можна зробити висновок, що є можливість розробити та випустити на ринок новий продукт, в основі якого буде запропонований проект.

В якості можливостей, що доступні при випуску даної продукції – головною є можливість успішної комерціалізації проекту. На ринку є попит на

очищувачі повітря, є попит на модулі для розумного дому, а також є потреба у приладах, що можуть дезінфікувати повітря при появі людей і тим самим підвищити безпеку користувачів. В умовах пандемії, що обумовлена вірусом, що передається і через повітряні потоки в тому числі – попит на дезінфікатори для повітря зріс.

З урахуванням потенційних груп клієнтів та їх потреб – автоматизованість роботи приладу і його дезінфікуючі властивості забезпечують конкурентоспроможність на ринку.

В якості альтернативи впровадження доцільним буде розширити коло споживачів.

Отже, подальше впровадження приладу можна вважати доцільним.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДЦІЇ

Було проаналізовано склад пилових частинок, що знаходяться у повітрі і обрано пріоритетну групу частинок для фільтрації виходячи з результатів аналізу впливу частинок на людський організм.

Після проведення аналізу існуючих конструкцій електростатичних фільтрів було запропоновано конструкцію яка забезпечує необхідне очищення повітря і має менші габаритні розміри, що дозволяє встановлювати її на існуючі системи клімату розумного дому, а також на решітки приточної вентиляції. Це дозволяє фільтрувати і те повітря, що в приміщенні, і те що надходить ззовні на відміну від конструкцій, що фільтрують тільки те повітря що знаходиться всередині, або те що надходить ззовні.

В результаті аналізу стану розробок серед повітряних фільтрів через було обрано електростатичний вид фільтру. Після проведення аналізу існуючих комп'ютерних моделей було запропоновано власну конструкцію електростатичного фільтру.

Для обраної конструкції було виконано фізико-топологічне моделювання, в результаті якого було з'ясовано, що найбільш ефективним та безпечним режимом роботи даного фільтру є робота при напрузі 12 кВ на коронуючому електроді.

Також було проаналізовано існуючі засоби штучного інтелекту та комп'ютерного зору і на основі аналізу запропоновано та розроблено програмне рішення, яке може розпізнати людину на потоковому відео з камери. За допомогою даної програми можна виконати завдання автоматизації роботи фільтру за появи людини у приміщенні. А також використовувати дану систему штучного інтелекту для роботи з іншими системами розумного будинку.

Було виконано аналіз проекту автоматичного повітряного фільтру і визначено, що даний продукт може бути комерціалізований.

На основі результатів роботи було написано статтю до наукового журналу.

Список використаної літератури

- [Robert Jennings Heinsohn, John M. Cimbala, Indoor Air Quality
1] Engineering: Environmental Health and Control of Indoor Pollutants, New York: Marcel Dekker, 2003.
- [A. Afshari, U. Matson, L. E. Ekberg, «Characterization of indoor sources of
2] fine and ultrafine particles: a study conducted in a full-scale chamber,» *Indoor Air* 15, pp. 141-150, 2005.
- [Siamak R. Ardkapan, Peter V. Nielsen, Alireza Afshari , «Studying passive
3] ultrafine particle dispersion in a room with a heat source,» *Building and Environment* 71, pp. 1-6, 2014.
- [Sanghwan Song, KiyounLee, Young-MiLee, Jung-HyunLee, SangIlLee,
4] Seung-DoYu, «Acute health effects of urban fine and ultrafine particles on children with atopic dermatitis,» *Environmental Research* 111, p. 394–399, 2011.
- [C. Arden Pope III, PhD; Richard T. Burnett, PhD; George D. Thurston, ScD;
5] Michael J. Thun, MD; Eugenia E. Calle, PhD; Daniel Krewski, PhD; John J. Godleski, MD, «Cardiovascular Mortality and Long-Term Exposure to Particulate Air Pollution: Epidemiological Evidence of General Pathophysiological Pathways of Disease,» *Circulation*, pp. 71-77, 2004.
- [Maciej Strak, Nicole A.H. Janssen, Krystal J. Godri, Ilse Gosens, Ian S.
6] Mudway, Flemming R. Cassee, Erik Lebret, Frank J. Kelly, Roy M. Harrison, Bert Brunekreef, Maaïke Steenhof, Gerard Hoek, «Respiratory Health Effects of Airborne Particulate Matter: The Role of Particle Size, Composition, and Oxidative Potential—The RAPTES Project,» *Environmental Health Perspectives* 8, pp. 1183-1189, August 2012.
- [В. БУРЕНИН, «Очистка воздуха от производственной пыли, токсичных
7] паров и газов с помощью фильтров-пылегазоуловителей,» *Безопасность труда в промышленности*, pp. 67-72, 2005.
- [Г. П. Дмитриев та А. А. Черников, «Вихрединамический сепаратор».
8] Россия Патент 2102114, 16. Апрель 1998.
- [В. Г. Ю. К. и. д. С.Ю. Панов, «Самогенерируемый фильтр для тонкой
9] очистки газов от пыли». Россия Патент 2156642, 24 Октябрь 1997.
- [К. К. П.И. Килин, «Универсальный пылегазоуловитель». Россия Патент
10] 2110318, 10. Сентябрь 1998.
- [Ю. К. В. Р. и. д. А.П. Зотов, «Фильтр непрерывного действия с
11] движущимся плотным слоем». Россия Патент 2075332, 23. Май 1997.

- [Alireza Afshari, Lars Ekberg, Luboš Forejt, Jinhan Mo, Siamak Rahimi,
12] Jeffrey Siegel, Wenhao Chen, Pawel Wargocki, Sultan Zurami, Jianshun Zhang,
«Electrostatic Precipitators as an Indoor Air Cleaner—A Literature Review,»
sustainability, № 12, 2020.
- [П. А.И., Обеспыливание воздуха, Москва: Стройиздат, 1974.
13]
- [Michael S. Waring, Jeffrey A. Siegel, Richard L. Corsi, «Ultrafine particle
14] removal and generation by portable air cleaners,» *Atmospheric Environment*, №
42, pp. 5003-5014, 2008.
- [ANDREAS BÄCK, JOEL CRAMSKY, «Numerical Modeling of
15] Electrostatic Precipitators,» *Comsol News*, pp. 21-23, 2012.
- [W. Deutsch, «Bewegung und ladung der elektrizitätsträger im
16] zylinderkondensator,» *Ann. Phys.* 373, p. 335–344, 1922.
- [S.H. Huang, C.C. Chen, «Ultrafine aerosol penetration through electrostatic
17] precipitators,» *Environ. Sci. Technol.* 36, p. 4625–4632, 2002.
- [P. Cooperman, «A new theory of precipitator efficiency,» *Atmos. Environ.* 5 ,
18] p. 541–551, 1971.
- [G. Leonard, M. Mitchner, S. Self, «Particle transport in electrostatic
19] precipitators,» *Atmos. Environ.* 14, p. 1289–1299, 1980.
- [L. Qi, Y. Yao, T. Han, J. Li, «Research on the electrostatic characteristic of
20] coal-fired fly ash,» *Environ. Sci. Pollut. Res.*, pp. 1-9, 2019.
- [S.H. Kim, H.S. Park, K.W. Lee, «Theoretical model of electrostatic
21] precipitator performance,» *J. Electrostat.* 50, p. 177–190, 2001.
- [R. Llewelyn, «Two analytical solutions to the linear transport diffusion
22] equation for a parallel plate precipitator,» *Atmos. Environ.* 16, p. 2989–2997,
1982.
- [C. Riehle, F. Löffler, «Grade efficiency and eddy diffusivity models,» *J.*
23] *Electrostat.* 34, p. 401–413, 1995.
- [S. Matts, P. Ohnfeldt, «Efficient gas cleaning with SF electrostatic
24] precipitators,» *Flakten Rev.* 6, p. 93–110, 1963.
- [S. Arif, D.J. Branken, R.C. Everson, H.W.J.P. Neomagus, L.A. le Grange, A.
25] Arif, «CFD modeling of particle charging and collection in electrostatic
precipitators,» *J. Electrostat.* 84, pp. 10-22, 2016.
- [Q. Lu, Z. Yang, C. Zheng, X. Li, C. Zhao, X. Xu, X. Gao, Z. Luo, M. Ni, K.
26] Cen, «Numerical simulation on the fine particle charging and transport behaviors
in a wire-plate electrostatic precipitator,» *Adv. Powder Technol.* 27, p. 1905–
1911, 2016.

- [J. Porteiro, R. Martín, E. Granada, D. Patiño, «Three-dimensional model of
27] electrostatic precipitators for the estimation of their particle collection efficiency,» *Fuel Process. Technol.* 143, p. 86–99, 2016.
- [H. Clack, «Numerical simulation of simultaneous electrostatic precipitation
28] and trace gas adsorption: Electrohydrodynamic effects,» *Front. Energy Res.* 5, p. 1–13, 2017.
- [M. Dong, F. Zhou, Y. Zhang, Y. Shang, S. Li, «Numerical study on fine-
29] particle charging and transport behavior in electrostatic precipitators,» *Powder Technol.* 330, p. 210–218, 2018.
- [F.J. Gutiérrez Ortiz, B. Navarrete, L. Cañadas, «Dimensional analysis for
30] assessing the performance of electrostatic precipitators,» *Fuel Process. Technol.* 91, p. 1783–1793, 2010.
- [P.T. Sardari, H. Rahimzadeh, G. Ahmadi, D. Giddings, «Nano-particle
31] deposition in the presence of electric field,» *J. Aerosol Sci.* 126, p. 169–179, 2018.
- [P. Talebizadeh, H. Rahimzadeh, G. Ahmadi, R. Brown, K. Inthavong, «Time
32] history of diesel particle deposition in cylindrical dielectric barrier discharge reactors,» *J. Nanopart. Res.* 18, p. 378, 2016.
- [S. Wang, Y. Chen, P. Han, G. Zhang, Q. Zheng, X. Shen, S. Li, K. Yan,
33] «PM10 and PM2.5 emission control by electrostatic precipitator, ESP, for coal-fired power plants I: ESP sizing and applications (in Chinese),» *Sci. Technol. Rev.* 32, p. 23–33, 2014.
- [A. Jaworek, A. Marchewicz, A.T. Sobczyk, A. Krupa, T. Czech, «Two-stage
34] electrostatic precipitators for the reduction of PM2.5 particle emission,» *Prog. Energy Combust. Sci.* 67, p. 206–233, 2018.
- [C. Zheng, C. Liang, S. Liu, Z. Yang, Z. Shen, Y. Guo, Y. Zhang, X. Gao,
35] «Balance and stability between particle collection and re-entrainment in a wide temperature-range electrostatic precipitator,» *Powder Technol.* 340, p. 543–552, 2018.
- [Shuran Li, Yifan Huang, Qinzhen Zheng, Guanlei Deng, Keping Yana, «A
36] numerical model for predicting particle collection efficiency of electrostatic precipitators,» *Powder Technology* 347, p. 170–178, 2019.
- [M. Goldman, A. Goldman, R. S. Sigmond, «The corona discharge, its
37] properties and specific uses,» *Pure & Appl. Chem.*, т. 57, № 9, p. 1353–1362, 1985.
- [«World Health Organization: Hazard Prevention and Control in the Work
38] Environment: Airborne Dust,» [Онлайновый]. Available: https://www.who.int/occupational_health/publications/en/oehairbornedust3.pdf.

[Дата звернення: 20 April 2021].

[О. В. Андрієнко, «Озонотерапевтичний апарат на коронному розряді :
39] магістерська дис.,» Київ, 2020.

[«Нейронные сети: распознавание образов и изображений с помощью
40] ИИ,» Центр2М, 2018-2021. [Онлайновий]. Available: <https://center2m.ru/ai-recognition>. [Дата звернення: 12 May 2021].

[О. Гавриша, «Методичні рекомендації до виконання розділу
41] магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей,»
НТУУ «КПІ», Київ, 2016.

5 Додатки

Додаток 1

Лістинг програми оброблення зображення людини

```
import cv2 as cv
```

```
import matplotlib.pyplot as plt
```

```
import numpy as np
```

```
import argparse
```

```
net = cv.dnn.readNetFromTensorflow("graph_opt.pb") #WEIGHTS
```

```
inWidth = 368
```

```
inHeight = 368
```

```
thr = 0.2
```

```
BODY_PARTS = { "Nose": 0, "Neck": 1, "RShoulder": 2, "RElbow": 3,
"RWrist": 4,
               "LShoulder": 5, "LElbow": 6, "LWrist": 7, "RHip": 8, "RKnee": 9,
               "RAnkle": 10, "LHip": 11, "LKnee": 12, "LAnkle": 13, "REye": 14,
               "LEye": 15, "REar": 16, "LEar": 17, "Background": 18 }
```

```
POSE_PAIRS = [ ["Neck", "RShoulder"], ["Neck", "LShoulder"],
["RShoulder", "RElbow"],
               ["RElbow", "RWrist"], ["LShoulder", "LElbow"], ["LElbow",
"RWrist"],
               ["Neck", "RHip"], ["RHip", "RKnee"], ["RKnee", "RAnkle"],
["Neck", "LHip"],
               ["LHip", "LKnee"], ["LKnee", "LAnkle"], ["Neck", "Nose"], ["Nose",
"REye"],
```

```
["REye", "REar"], ["Nose", "LEye"], ["LEye", "LEar"] ]
```

```
img = cv.imread("photo_2020-12-06_03-32-56.jpg")
```

```
plt.imshow(img)
```

```
plt.imshow(cv.cvtColor(img, cv.COLOR_BGR2RGB))
```

```
def pose_detector (frame):  
    frameWidth = frame.shape[1]  
    frameHeight = frame.shape[0]  
    net.setInput(cv.dnn.blobFromImage(frame, 1.0, (inWidth, inHeight), (127.5,  
127.5, 127.5), swapRB=True, crop=False))  
    out = net.forward()  
    out = out[:, :19, :, :] # MobileNet output [1, 57, -1, -1], we only need the  
first 19 elements  
  
    assert(len(BODY_PARTS) == out.shape[1])  
  
    points = []  
    for i in range(len(BODY_PARTS)):  
        # Slice heatmap of corresponging body's part.  
        heatMap = out[0, i, :, :]  
  
        # Originally, we try to find all the local maximums. To simplify a sample  
        # we just find a global one. However only a single pose at the same time  
        # could be detected this way.  
        _, conf, _, point = cv.minMaxLoc(heatMap)
```

```

x = (frameWidth * point[0]) / out.shape[3]
y = (frameHeight * point[1]) / out.shape[2]
# Add a point if it's confidence is higher than threshold.
points.append((int(x), int(y)) if conf > thr else None)

for pair in POSE_PAIRS:
    partFrom = pair[0]
    partTo = pair[1]
    assert(partFrom in BODY_PARTS)
    assert(partTo in BODY_PARTS)

    idFrom = BODY_PARTS[partFrom]
    idTo = BODY_PARTS[partTo]

    if points[idFrom] and points[idTo]:
        cv.line(frame, points[idFrom], points[idTo], (0, 255, 0), 3)
        cv.ellipse(frame, points[idFrom], (3, 3), 0, 0, 360, (0, 0, 255),
cv.FILLED)
        cv.ellipse(frame, points[idTo], (3, 3), 0, 0, 360, (0, 0, 255), cv.FILLED)

    t, _ = net.getPerfProfile()
    freq = cv.getTickFrequency() / 1000
    cv.putText(frame, '%.2fms' % (t / freq), (10, 20),
cv.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.5, (0, 0, 0))

    return frame

detected_image = pose_detector (img)

```

```
plt.imshow(cv.cvtColor(detected_image, cv.COLOR_BGR2RGB))
```

Додаток 2

Лістинг програми для потокової обробки виділеної області зображення при обробці потокового відео з веб камери.

```
import cv2
from matplotlib import pyplot as plt

def sketch_transform(image):
    image_grayscale = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
    image_grayscale_blurred = cv2.GaussianBlur(image_grayscale, (7,7), 0)
    image_canny = cv2.Canny(image_grayscale_blurred, 10, 80)
    _, mask = image_canny_inverted = cv2.threshold(image_canny, 30, 255,
cv2.THRESH_BINARY_INV)
    return mask

cam_capture = cv2.VideoCapture(0)
cv2.destroyAllWindows()
upper_left = (50, 50)
bottom_right = (300, 300)
while True:
    _, image_frame = cam_capture.read()

    #Rectangle marker
    r = cv2.rectangle(image_frame, upper_left, bottom_right, (100, 50, 200), 5)
    rect_img = image_frame[upper_left[1] : bottom_right[1], upper_left[0] :
bottom_right[0]]
```

```

sketcher_rect = rect_img
sketcher_rect = sketch_transform(sketcher_rect)

#Conversion for 3 channels to put back on original image (streaming)
sketcher_rect_rgb = cv2.cvtColor(sketcher_rect, cv2.COLOR_GRAY2RGB)

#Replacing the sketched image on Region of Interest
image_frame[upper_left[1] : bottom_right[1], upper_left[0] :
bottom_right[0]] = sketcher_rect_rgb

cv2.imshow("Sketcher ROI", image_frame)
if cv2.waitKey(1) == 13:
    break

cam_capture.release()
cv2.destroyAllWindows()

```

Додаток 3

Лістинг програми для детекції людей та об'єктів на зображеннях з використанням бібліотеки тренуваних моделей YOLO.

```

# import the necessary packages
import numpy as np
import argparse
import time
import cv2
import os

# construct the argument parse and parse the arguments
ap = argparse.ArgumentParser()

```

```

ap.add_argument("-i", "--image", required=True,
                help="path to input image")
ap.add_argument("-y", "--yolo", required=True,
                help="base path to YOLO directory")
ap.add_argument("-c", "--confidence", type=float, default=0.5,
                help="minimum probability to filter weak detections")
ap.add_argument("-t", "--threshold", type=float, default=0.3,
                help="threshold when applyong non-maxima suppression")
args = vars(ap.parse_args())

# load the COCO class labels our YOLO model was trained on
labelsPath = os.path.sep.join([args["yolo"], "coco.names"])
LABELS = open(labelsPath).read().strip().split("\n")

# initialize a list of colors to represent each possible class label
np.random.seed(42)
COLORS = np.random.randint(0, 255, size=(len(LABELS), 3),
                             dtype="uint8")

# derive the paths to the YOLO weights and model configuration
weightsPath = os.path.sep.join([args["yolo"], "yolov3.weights"])
configPath = os.path.sep.join([args["yolo"], "yolov3.cfg"])

# load our YOLO object detector trained on COCO dataset (80 classes)
print("[INFO] loading YOLO from disk...")
net = cv2.dnn.readNetFromDarknet(configPath, weightsPath)

# load our input image and grab its spatial dimensions
image = cv2.imread(args["image"])

```

```
(H, W) = image.shape[:2]
```

```
# determine only the *output* layer names that we need from YOLO
```

```
ln = net.getLayerNames()
```

```
ln = [ln[i[0] - 1] for i in net.getUnconnectedOutLayers()]
```

```
# construct a blob from the input image and then perform a forward
```

```
# pass of the YOLO object detector, giving us our bounding boxes and
```

```
# associated probabilities
```

```
blob = cv2.dnn.blobFromImage(image, 1 / 255.0, (416, 416),
```

```
    swapRB=True, crop=False)
```

```
net.setInput(blob)
```

```
start = time.time()
```

```
layerOutputs = net.forward(ln)
```

```
end = time.time()
```

```
# show timing information on YOLO
```

```
print("[INFO] YOLO took {:.6f} seconds".format(end - start))
```

```
# initialize our lists of detected bounding boxes, confidences, and
```

```
# class IDs, respectively
```

```
boxes = []
```

```
confidences = []
```

```
classIDs = []
```

```
# loop over each of the layer outputs
```

```
for output in layerOutputs:
```

```
    # loop over each of the detections
```

```
        for detection in output:
```

```

# extract the class ID and confidence (i.e., probability) of
# the current object detection
scores = detection[5:]
classID = np.argmax(scores)
confidence = scores[classID]

# filter out weak predictions by ensuring the detected
# probability is greater than the minimum probability
if confidence > args["confidence"]:
    # scale the bounding box coordinates back relative to the
    # size of the image, keeping in mind that YOLO actually
    # returns the center (x, y)-coordinates of the bounding
    # box followed by the boxes' width and height
    box = detection[0:4] * np.array([W, H, W, H])
    (centerX, centerY, width, height) = box.astype("int")

    # use the center (x, y)-coordinates to derive the top and
    # and left corner of the bounding box
    x = int(centerX - (width / 2))
    y = int(centerY - (height / 2))

    # update our list of bounding box coordinates, confidences,
    # and class IDs
    boxes.append([x, y, int(width), int(height)])
    confidences.append(float(confidence))
    classIDs.append(classID)

# apply non-maxima suppression to suppress weak, overlapping bounding
# boxes

```

```

idxs = cv2.dnn.NMSBoxes(boxes, confidences, args["confidence"],
                        args["threshold"])

# ensure at least one detection exists
if len(idxs) > 0:
    # loop over the indexes we are keeping
    for i in idxs.flatten():
        # extract the bounding box coordinates
        (x, y) = (boxes[i][0], boxes[i][1])
        (w, h) = (boxes[i][2], boxes[i][3])

        # draw a bounding box rectangle and label on the image
        color = [int(c) for c in COLORS[classIDs[i]]]
        cv2.rectangle(image, (x, y), (x + w, y + h), color, 2)
        text = "{}: {:.4f}".format(LABELS[classIDs[i]], confidences[i])
        cv2.putText(image, text, (x, y - 5),
cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX,
                    0.5, color, 2)

# show the output image
cv2.imshow("Image", image)
cv2.waitKey(0)

```

Додаток 4

Лістинг програми для детекції людей та об'єктів на відео з використанням бібліотеки тренуваних моделей YOLO та запису результатів на диск.

```

# import the necessary packages
import numpy as np
import argparse
import imutils
import time
import cv2
import os

# construct the argument parse and parse the arguments
ap = argparse.ArgumentParser()
ap.add_argument("-i", "--input", required=True,
                help="path to input video")
ap.add_argument("-o", "--output", required=True,
                help="path to output video")
ap.add_argument("-y", "--yolo", required=True,
                help="base path to YOLO directory")
ap.add_argument("-c", "--confidence", type=float, default=0.5,
                help="minimum probability to filter weak detections")
ap.add_argument("-t", "--threshold", type=float, default=0.3,
                help="threshold when applyong non-maxima suppression")
args = vars(ap.parse_args())

# load the COCO class labels our YOLO model was trained on
labelsPath = os.path.sep.join([args["yolo"], "coco.names"])
LABELS = open(labelsPath).read().strip().split("\n")

# initialize a list of colors to represent each possible class label
np.random.seed(42)
COLORS = np.random.randint(0, 255, size=(len(LABELS), 3),

```

```

dtype="uint8")

# derive the paths to the YOLO weights and model configuration
weightsPath = os.path.sep.join([args["yolo"], "yolov3.weights"])
configPath = os.path.sep.join([args["yolo"], "yolov3.cfg"])

# load our YOLO object detector trained on COCO dataset (80 classes)
# and determine only the *output* layer names that we need from YOLO
print("[INFO] loading YOLO from disk...")
net = cv2.dnn.readNetFromDarknet(configPath, weightsPath)
ln = net.getLayerNames()
ln = [ln[i[0] - 1] for i in net.getUnconnectedOutLayers()]

# initialize the video stream, pointer to output video file, and
# frame dimensions
vs = cv2.VideoCapture(args["input"])
writer = None
(W, H) = (None, None)

# try to determine the total number of frames in the video file
try:
    prop = cv2.cv.CV_CAP_PROP_FRAME_COUNT if imutils.is_cv2() \
        else cv2.CAP_PROP_FRAME_COUNT
    total = int(vs.get(prop))
    print("[INFO] {} total frames in video".format(total))

# an error occurred while trying to determine the total
# number of frames in the video file
except:

```

```
print("[INFO] could not determine # of frames in video")
print("[INFO] no approx. completion time can be provided")
total = -1
```

```
# loop over frames from the video file stream
```

```
while True:
```

```
    # read the next frame from the file
```

```
    (grabbed, frame) = vs.read()
```

```
    # if the frame was not grabbed, then we have reached the end
```

```
    # of the stream
```

```
    if not grabbed:
```

```
        break
```

```
    # if the frame dimensions are empty, grab them
```

```
    if W is None or H is None:
```

```
        (H, W) = frame.shape[:2]
```

```
    # construct a blob from the input frame and then perform a forward
```

```
    # pass of the YOLO object detector, giving us our bounding boxes
```

```
    # and associated probabilities
```

```
    blob = cv2.dnn.blobFromImage(frame, 1 / 255.0, (416, 416),
```

```
        swapRB=True, crop=False)
```

```
    net.setInput(blob)
```

```
    start = time.time()
```

```
    layerOutputs = net.forward(ln)
```

```
    end = time.time()
```

```
    # initialize our lists of detected bounding boxes, confidences,
```

```

# and class IDs, respectively
boxes = []
confidences = []
classIDs = []

# loop over each of the layer outputs
for output in layerOutputs:
    # loop over each of the detections
    for detection in output:
        # extract the class ID and confidence (i.e., probability)
        # of the current object detection
        scores = detection[5:]
        classID = np.argmax(scores)
        confidence = scores[classID]

        # filter out weak predictions by ensuring the detected
        # probability is greater than the minimum probability
        if confidence > args["confidence"]:
            # scale the bounding box coordinates back relative to
            # the size of the image, keeping in mind that YOLO
            # actually returns the center (x, y)-coordinates of
            # the bounding box followed by the boxes' width and
            # height
            box = detection[0:4] * np.array([W, H, W, H])
            (centerX, centerY, width, height) = box.astype("int")

            # use the center (x, y)-coordinates to derive the top
            # and and left corner of the bounding box
            x = int(centerX - (width / 2))

```

```

y = int(centerY - (height / 2))

# update our list of bounding box coordinates,
# confidences, and class IDs
boxes.append([x, y, int(width), int(height)])
confidences.append(float(confidence))
classIDs.append(classID)

# apply non-maxima suppression to suppress weak, overlapping
# bounding boxes
idxs = cv2.dnn.NMSBoxes(boxes, confidences, args["confidence"],
                        args["threshold"])

# ensure at least one detection exists
if len(idxs) > 0:
    # loop over the indexes we are keeping
    for i in idxs.flatten():
        # extract the bounding box coordinates
        (x, y) = (boxes[i][0], boxes[i][1])
        (w, h) = (boxes[i][2], boxes[i][3])

        # draw a bounding box rectangle and label on the frame
        color = [int(c) for c in COLORS[classIDs[i]]]
        cv2.rectangle(frame, (x, y), (x + w, y + h), color, 2)
        text = "{}: {:.4f}".format(LABELS[classIDs[i]],
                                   confidences[i])
        cv2.putText(frame, text, (x, y - 5),
                    cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.5, color, 2)

```

```

# check if the video writer is None
if writer is None:
    # initialize our video writer
    fourcc = cv2.VideoWriter_fourcc(*"MJPG")
    writer = cv2.VideoWriter(args["output"], fourcc, 30,
                             (frame.shape[1], frame.shape[0]), True)

# some information on processing single frame
if total > 0:
    elap = (end - start)
    print("[INFO] single frame took {:.4f}
seconds".format(elap))
    print("[INFO] estimated total time to finish: {:.4f}".format(
        elap * total))

# write the output frame to disk
writer.write(frame)

# release the file pointers
print("[INFO] cleaning up...")
writer.release()
vs.release()

```

ABSTRACT

The actuality of theme. With the development of electronic devices and wireless technologies, it has become possible to develop devices that are remotely controlled. This in turn led to the rapid development of the smart home system. The rapid development of the system and the variety of devices that can be included in a smart home have led to a rapid increase in the popularity of this technology.

Meanwhile, since the beginning of the 21st century, industry and the number of industrial emissions into the air are growing rapidly. Natural disasters in the form of forest fires contribute to industrial air pollution in large cities. Also, a threat is such a common thing as house dust. Prolonged contact with polluted air has serious health consequences. In 2020, a virus was added to urgent threats and allergens in the air in the form of microscopic particles that may come from the air of poor quality. Therefore, the issue of air filtration from dust pollution is especially relevant in the 1920s. Priority for filtration are particles smaller than 1 micron, as it is this range of sizes include viruses transmitted by airborne droplets. Also, particles smaller than 1 μm can cause allergic reactions and irritation, leading to the development of respiratory disease.

At the same time, particles 5-10 μm in size are often dust or fibers that, when inhaled or swallowed, tend to irritate the respiratory tract and cause allergies.

Even though air filters are already quite common - the peculiarities of their placement often negatively affect their efficiency. Therefore, the device is considered in this paper, which focuses on the possibility of installing an additional module in a smart home system or as a supplement to conventional air conditioners.

Connection of work with scientific programs, plans, topics. The dissertation was prepared in accordance with the research plan of the Department of Electronic Devices and Systems of the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky.

The purpose and objectives of the research. The purpose of the study is to study the operation of the electrostatic precipitator, corona discharge, to propose the

design of the electrostatic precipitator, which will effectively retain dust particles of a given diameter. To achieve this goal it is necessary:

1. Analyze the existing designs of air filters.
2. Identify dust particles that have priority infiltration.
3. To propose the design of a smaller electrostatic precipitator than the existing analogs and to create its physical and topological model. Conduct research within this model to determine the effectiveness of this model. Determine the most efficient and safe mode of operation.

The object of study is the corona discharge.

The subject of research is the influence of corona discharge voltage and dust particle size on the efficiency of dust particle filtration in an electrostatic precipitator.

Research methods. An electrostatic filter with a plate-shaped electrode was selected to filter the air from contaminants of a given size. This type of air filter uses a corona discharge. Physical and topological modeling of this electric filter was chosen to study the filtration efficiency of dust particles of different diameters.

1. Analysis of the literature on the impact of airborne particles on human health, bibliographic analysis of electrostatic precipitators, analysis of existing models of air filters to determine opportunities for improvement of the device.

2. Computer physical and topological modeling of the electrostatic precipitator of the proposed design to study the efficiency of its operation.

3. Determining the modes of operation of the proposed electrostatic precipitator by comparing and analyzing its operation at different modes of operation, determined by the voltage applied to the ionizing electrode.

The scientific novelty of the obtained results. Is to determine the characteristics of the filtration of microscopic dust particles while improving the design of the electrostatic precipitator. Relatively safer filter for indoor use compared to standard ozonizing electrostatic precipitators.

The practical significance of the obtained results.

- A computer physical-topological model has been created that can be modified for laboratory work to analyze the behavior of microscopic particles in the electric field of the corona discharge depending on the voltage applied to the electrode.

- The proposed design of the electrostatic precipitator can be used to create a filter module. Its use indoors should in turn disinfect the air from viruses and allergens without significantly increasing the concentration of ozone in the room. Especially important for modern realities is the possibility of using such air disinfectants for public places.

Personal contribution of the applicant. Collection and analysis of materials on the topic of work. Discussion of the results of the analysis and design was performed with the supervisor. The creation of the physical and topological model was performed personally, the calculation within the model - with the help of specialists. The text of the dissertation is written personally.

Structure and scope of the dissertation - the dissertation consists of four sections. Total volume - 99 pages, of which 64 pages of the main text, contains 38 figures, 23 tables, 4 appendices, 41 used sources from the list of references