

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 551.5,004.35

ТИПИ ПИЛОВИХ ЗАБРУДНЕНЬ АТМОСФЕРИ ТА ДАТЧИКИ ПОВІТРЯ

М. О. Гайдук, М. В. Корнійчук

здобувачі вищої освіти першого (бакалаврського) рівня, 2 курс,
спеціальність «Комп'ютерні науки»,
навчально-науковий інститут кібернетики, інформаційних технологій та інженерії
Науковий керівник – к.т.н., доцент О. Р. Мічута

*Національний університет водного господарства та природокористування,
м. Рівне, Україна*

У статті розглянуто вплив пилового забруднення на навколишнє середовище та здоров'я населення, визначено основні джерела такого забруднення (серед найнебезпечніших інгредієнтів – тверді частинки (PM10, PM2.5, PM1), озон, діоксид азоту, діоксид сірки та оксид вуглецю, які можуть викликати дихальні та серцево-судинні захворювання). Проведено аналіз ефективності сучасних технологій моніторингу якості повітря та використання сучасних автоматичних станцій для діагностики стану повітря в реальному часі для оперативного реагування на його зміни.

Ключові слова: пилові забруднення, тверді частинки, якість повітря, здоров'я населення, моніторинг повітря, джерела забруднень.

The article examines the impact of dust pollution on the environment and public health, identifies the main sources of such pollution (among the most dangerous ingredients are particulate matter (PM10, PM2.5, PM1), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide, which can cause respiratory and cardiovascular diseases). The effectiveness of modern air quality monitoring technologies and the use of modern automatic stations for diagnosing air quality in real time for prompt response to its changes are analyzed.

Keywords: dust pollution, particulate matter, air quality, public health, air monitoring, sources of pollution.

Забруднення атмосферного повітря залишається однією з ключових екологічних проблем сучасності. Особливо гостро вона відчувається у промислово розвинених районах та густонаселених міських зонах, де повітря значно погіршується через вплив антропогенних факторів, таких як транспорт, виробничі підприємства та будівництво, а також природних джерел забруднення. До основних забруднювачів повітря належать дрібнодисперсні частинки (PM2.5 і PM10), озон, оксиди азоту й сірки, а також чадний газ. Їх висока концентрація в атмосфері може серйозно позначитися на здоров'ї людей і спричинити поступове руйнування екосистем.

Метою статті є дослідження впливу пилового забруднення на навколишнє середовище та здоров'я населення, визначення основних джерел цього забруднення, а також аналіз ефективності сучасних технологій моніторингу якості повітря для зменшення негативного впливу на здоров'я населення.

Природні джерела забруднення, як правило, не спричиняють значних змін у повітрі. Проте інтенсивне поширення природних забруднювачів, таких як викиди попелу і газів під час вулканічних вивержень або лісових та степових пожеж, може стати серйозною причиною забруднення атмосфери. Наприклад, виверження вулкана Кракатау в 1883 році призвело до викиду 150 млрд тонн попелу, який поширився по всій Землі. Таких катастрофічних явищ вистачає, щоб змінити тепловий баланс планети, але зазвичай природні забруднення не завдають значної шкоди людині, оскільки підлягають природному регулюванню через біологічні процеси [1].

Штучне (антропогенне) забруднення атмосфери виникає внаслідок діяльності людини, яка змінює склад і властивості повітря. Джерела таких забруднень умовно поділяються на технічні (наприклад, пил від цементних заводів або дим і сажа від згоряння вугілля) і хімічні (речовини, що вступають у хімічні реакції). Забруднювальні речовини поділяються на тверді, рідкі та газоподібні, причому газоподібні забрудники становлять більшість маси забруднюючих речовин, що потрапляють в атмосферу [1].

Основними джерелами пилових частинок у повітрі є:

- Продукти згоряння в тепло (котельні, теплові електростанції, теплові електроцентралі).
- Промислові викиди (металургійні та хімічні заводи викидають значну кількість дрібнодисперсного пилу).
- Транспорт (викиди від вихлопних газів, зношення шин та гальмівних колодок сприяють утворенню пилу).
- Будівельна діяльність (будівельні роботи, руйнування конструкцій, переміщення ґрунту є важливими джерелами пилу).
- Природні процеси (вітрова ерозія ґрунтів, лісові пожежі та вулканічна активність можуть спричиняти значні викиди пилу в атмосферу).

Можна виділити п'ять найбільш поширених забруднювачів повітря:

1. **Тверді частинки (РМ)** (англійською *Particulate Matter*) – дрібний пил, який складається з найдрібніших твердих і рідких частинок, які розділені на групи залежно від фракцій. Частинки діаметром до 10 мкм (РМ10) називаються твердими частинками. Ці частинки розміром від 3 до 10 мкм осідають в носі і гортані. Частки розміром близько 2,5 мкм (РМ2.5) потрапляють в легені при вдиху. Частки розміром менше 1 мкм (РМ1) потрапляють на альвеоли і далі в кровоносну систему.

Тверді частинки складаються з складної суміші твердих і рідких частинок органічних та неорганічних матеріалів, які знаходяться («плавають») у повітрі [2]. Однак РМ не обмежується тільки впливом на здоров'я, але й важливий для технологічних процесів, таких як виробництво мікросхем, зокрема мікропроцесорів. Виробництво таких високотехнологічних компонентів вимагає ідеальної чистоти повітря, адже навіть найменші частинки пилу можуть негативно вплинути на якість продукції. Для порівняння, частинки пилу розміром 1 мкм (РМ1.0) значно більші за розміри транзисторів в сучасних процесорах, які вимірюються в нанометрах (сотні разів менші). Тому вимоги до чистоти повітря в цих умовах є надзвичайно суворими [4].

Найпоширенішими пошкоджувальними частинками є частинки розміром 10 мкм або менше, які можуть проникати і потрапляти глибоко в легені. Існує тісний взаємозв'язок між впливом невеликої кількості частинок (≤ 10 мк) та збільшенням смертності та болю, які вони провокують. Доведено, що невеликі забруднювачі впливають на здоров'я навіть при дуже низьких концентраціях [2].

2. **Озон (О₃)** є одним з основних елементів фотохімічного смогу. Він утворюється в атмосфері в результаті реакції сонячного світла (фотохімічні реакції) із забруднюючими речовинами, такими як оксиди азоту (NO_x) від транспортних засобів та промисловості. Як результат, найвищий рівень забруднення озоном відбувається в періоди сонячної погоди.

Надлишок озону в повітрі суттєво впливає на здоров'я людини. Це може спричинити проблеми з диханням, спровокувати астму, зменшити роботу легенів, а також спричинити захворювання легенів. Нині озон вважається найбільш несприятливим забруднювачем повітря в Європі. За результатами проведених досліджень у Європі відомо, що при зростанні озону в повітрі на 10 мікрограмів на кубічний метр, добова смертність зросла на 0,3%, а хвороби серця – на 0,4% [2].

3. Діоксид азоту (NO_2) і оксид азоту (NO). При короткочасній концентрації, що перевищує 200 мікрограмів на кубічний метр, діоксид азоту вважається токсичним газом, що викликає значне запалення дихальних шляхів. NO_2 є основним джерелом нітратних аерозолів, які утворюють невеликі фракції частинок. Основним джерелом викидів NO_2 є процес згоряння (опалення, виробництво електроенергії, транспортні засоби та судна). Епідеміологічні дослідження показують, що симптоми бронхіту у дітей з астмою нарастають після тривалого впливу NO_2 . При взаємодії оксидів азоту з парами води (при значній атмосферній вологості) утворюються пари азотної і азотистої кислот, що руйнують легені людини, справляють значний негативний вплив на флору і фауну [2].

4. Діоксид сірки (SO_2) – це безбарвний газ з різким запахом. Утворюється при спалюванні викопного палива (вугілля та нафта) та переробкою мінеральної руди, що містить сірку (при спалюванні газу діоксид сірки не утворюється). Значні кількості SO_2 утворюються при спалюванні сірчаного викопного палива (вугілля, дрова, пелети) для побутового опалення, виробництва електроенергії (вугільні ТЕС, ТЕЦ) та автотранспорту (дизель). SO_2 може впливати на роботу органів дихання та легенів та спричиняти подразнення очей. Запалення дихальних шляхів, яке викликає кашель, виділення слизу, астму, хронічний бронхіт і робить людей більш сприйнятливими до респіраторних інфекцій.

При концентрації 0,04–0,5 мг/м³ протягом декількох хвилин створюється загроза для життя. Смертельними вважаються концентрації 1400 мг/м³ протягом 5 хвилин і 7800 мг/м³ протягом 30 хвилин. Пари приводять до судом, втрату свідомості і смерть від зупинки і паралічу серця [2].

5. Оксид вуглецю або чадний газ (CO). Цей газ заважає крові поглинати кисень. Це може спричинити значне зменшення постачання киснем серця, особливо у людей, які страждають на серцеві захворювання. CO з'єднується з гемоглобіном у 250 разів легше ніж кисень – утворюється карбоксигемоглобін (HbCO), який не може транспортувати кисень, наслідком чого є гіпоксія, утворення вільних радикалів та пошкодження мембранних структур клітин. Оксид вуглецю присутній усюди при спалюванні будь-якого виду палива: викопного, мінерального, газу і т. д. Це такий собі «універсальний солдат» забруднення: ТЕС, ТЕЦ, котельні, металургія, нафтопереробка, домашні печі, каміни. Транспортні засоби також є джерелами викидів оксиду вуглецю [2].

Існують методи моніторингу забруднення повітря, які передбачають використання автоматичних станцій та портативних датчиків. Одним із таких пристроїв є Air Fresh Max, станція моніторингу якості повітря, що дозволяє здійснювати контроль та реєстрацію стану повітря навколишнього середовища, а саме фіксувати показники температури, вологості та концентрації пилу $\text{PM}_{2.5}$ і PM_{10} в режимі реального часу (рисунок).

Стан такого датчика можна переглянути онлайн на інтерактивній карті екологічного моніторингу України (<https://eco-city.org.ua/?zoom=12&lat=50.612730&lng=26.272001&station=1685&random=53385080>). На сайті відображаються актуальні показники з датчика, що дозволяє в реальному часі слідкувати за станом повітря у зазначеному регіоні та оперативно реагувати на його зміни.

До його базової комплектації входять датчики, що фіксують показники температури, тиску і вологості, а також $\text{PM}_{2.5}$ і PM_{10} та автоматична термокомпенсація при відносній вологості більше 70% з передачею даних через Wi-Fi.



Рисунок. Зовнішній вигляд станції моніторингу Air Fresh Max

Також виробник дає можливість додати додаткові сенсори для покращення або збільшення спектру підтримуваних забруднень. Можливі наступні датчики для додаткового встановлення:

- MiCS-6814 – це надійний датчик для виявлення забруднень від автомобільних вихлопів та сільськогосподарських/промислових запахів (може виявити вміст CO, NO₂, C₂H₅OH, H₂, NH₃, CH₄, C₃H₈, C₄H₁₀ в повітрі) [3].
- TVOC+CO₂ – модуль для вимірювання загальної кількості летких органічних сполук (TVOC) і CO₂. Забезпечує точний моніторинг якості повітря, швидкий відгук і

стабільну роботу [3; 4].

- ZE08-CH₂O – це універсальний та мініатюрний електрохімічний модуль для виявлення формальдегіду. Він використовує електрохімічний принцип для визначення CH₂O у повітрі, що забезпечує високу вибірковість і стабільність модуля [3].
- MH-Z19 CO₂ – це поширений компактний інфрачервоний газовий модуль, який використовує принцип недисперсійної інфрачервоної спектроскопії (NDIR) для виявлення CO₂ у повітрі. Він характеризується хорошою вибірковістю, незалежністю від кисню та тривалим терміном служби [3].
- ZE27-O₃ – це універсальний мініатюрний електрохімічний модуль для виявлення озону. Він використовує електрохімічний принцип для визначення озону в повітрі, що забезпечує високу вибірковість і стабільність [3].
- ZE03 – це універсальний та високопродуктивний електрохімічний модуль. Він оснащений трьома електродами, електрохімічним газовим датчиком і високопродуктивним мікропроцесором. Завдяки встановленню різних газових датчиків модуль може виявляти відповідні гази. Вбудований температурний датчик забезпечує температурну компенсацію, що дозволяє точно визначати концентрацію наступних газів: SO₂, H₂S, CO, NH₃, NO₂, O₂, O₃, CL₂, HF, C₂H₄ [3].
- ZE12A – це універсальний та високопродуктивний електрохімічний модуль. Він може виявляти CO, SO₂, NO₂ та O₃ на основі електрохімічного принципу. Модуль відрізняється високою вибірковістю та стабільністю [3].
- Електронний ніс. Практичне застосування людського носа для розпізнавання ароматів обмежене його суб'єктивністю та втомою, тому є потреба в інструменті, що замінить нюх людини. Eco City пропонує модуль електронного носа DG, який використовує електрохімічний газовий аналізатор для виявлення запахів у концентраціях від 0 до 50 PPM з кроком 0.1 PPM. Модуль оснащений температурним датчиком для термокомпенсації, що дозволяє врахувати вплив температури на показники. Рекомендуємо використовувати електронний ніс на фермах, виробництвах та в інших місцях, де є джерела сторонніх запахів, для моніторингу якості повітря і комфорту на вулиці.

- VEML 6075 вимірює ультрафіолетове випромінювання типу UVA та UVB, об'єднуючи фотодіод, підсилювачі та аналого-цифрові схеми в одному чипі за допомогою CMOS-технології[3].
- RAD – сенсор радіаційного фону.
- ZPH (PM1, PM2.5, PM10, NO₂, CO, CO₂, O₃, CH₂O, VOC) – це сенсор для вимірювання концентрацій часток PM1, PM2.5, PM10, а також газів NO₂, CO, CO₂, O₃, CH₂O і VOC, який використовується для моніторингу якості повітря [3].

Висновок. Забруднення повітря є серйозною екологічною проблемою, що впливає на здоров'я людей та екосистеми. Використання сучасних датчиків, таких як Air Fresh Max EOS, дозволяє ефективно контролювати рівень забруднення та вчасно реагувати на його підвищення. Подальший розвиток технологій моніторингу сприятиме покращенню якості повітря та зниженню негативного впливу пилових забруднень на здоров'я населення.

1. Джерела забруднення атмосфери: природні та антропогенні. URL: <https://osvita.ua/vnz/reports/ecology/21295/> (дата звернення: 02.04.2025). 2. Основні забруднювачі атмосферного повітря. URL: <https://eco.aep.kiev.ua/novini/osnovni-zabrudnyuvachi-atmosfernogo-povitrya-harakteristiki-vpliv-na-organizm-lyudini/> (дата звернення: 02.04.2025). 3. Air Fresh Max. *BeeGreen*. URL: <https://beegreen.com.ua/air-fresh-max-prystriy-vumiryvannya-povitria-16979> (дата звернення: 04.04.2025). 4. Про монітори якості повітря та їх параметри. URL: https://brom.ua/uk/pro-monitory-yakosti-povitrya-ta-ih-parametri-ukr?srsId=AfmBOoq_XZJ8YTNnku6V5s3DARxynP0C95zZ4v9IqG6SUaqS1cF87rC4 (дата звернення: 06.04.2025).