

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ КОНЦЕНТРАЦІЙ ЧАСТИНОК PM2.5 І PM10 У ПОВІТРІ

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

У даній роботі досліджується кореляції між концентраціями частинок PM2.5 (частинок з діаметром менше 2.5 мікрметрів) і PM10 (частинок з діаметром менше 10 мікрметрів) у повітрі. Взаємозв'язок між цими частинками є важливим для оцінки якості повітря та визначення впливу забруднення на здоров'я людей і стан навколишнього середовища.

**Ключові слова:** концентрація частинок, забруднення повітря, кореляція, якість повітря.

### *Abstract*

This work investigates the correlation between concentrations of PM2.5 (particles with a diameter of less than 2.5 micrometers) and PM10 (particles with a diameter of less than 10 micrometers) in air. The relationship between these particles is important for assessing air quality and determining the impact of pollution on human health and the environment.

**Keywords:** particle concentration, air pollution, correlation, air quality.

### **Вступ**

Зв'язок між концентраціями частинок PM2.5 і PM10 у повітрі та їх вплив на якість атмосфери та здоров'я людей є актуальною та важливою проблемою сучасності. Подробиці цього взаємозв'язку важливі для розуміння рівня забруднення повітря та його впливу на загальну добробут і здоров'я громадянськості.

Частинки PM2.5 (частинки з діаметром менше 2.5 мікрметрів) і PM10 (частинки з діаметром менше 10 мікрметрів) включають в себе широкий спектр атмосферних забруднюючих речовин, які можуть мати різні джерела походження, включаючи промислові викиди, дорожній транспорт, сільське господарство та природні процеси. Концентрація цих частинок може мати важливі наслідки для здоров'я, особливо для системи дихання, оскільки вони можуть проникати глибоко в легені та викликати різноманітні захворювання.

Метою роботи є дослідження взаємозв'язку концентрацій частинок PM2.5 і PM10 у повітрі.

### **Результати дослідження**

Забруднення повітря - це забруднення внутрішнього або зовнішнього середовища будь-яким хімічним, фізичним або біологічним агентом, який змінює природні характеристики атмосфери. Побутові пристрої для спалювання, автотранспорт, промислові об'єкти та лісові пожежі є поширеними джерелами забруднення повітря. Забруднювачі, що викликають серйозне занепокоєння для здоров'я, включають тверді частинки, чадний газ, озон, діоксид азоту та діоксид сірки. Забруднення зовнішнього та внутрішнього повітря викликає респіраторні та інші захворювання та є важливим джерелом захворюваності та смертності [1].

Тверді частинки в повітрі (PM) не є окремим забруднювачем, а є сумішшю багатьох хімічних речовин. Це складна суміш твердих речовин і аерозолів, що складається з дрібних крапель рідини, сухих твердих фрагментів і твердих ядер з рідким покриттям. Частинки дуже різноманітні за розміром, формою та хімічним складом і можуть містити неорганічні іони, металеві сполуки, елементарний вуглець, органічні сполуки та сполуки із земної кори. Для цілей регулювання якості повітря частинки визначаються за їхнім діаметром [2].

Частинки розміром 2,5 мікрона або менше вважаються особливо небезпечними для здоров'я людини, оскільки вони обходять багато захисних сил нашого організму. Волосся в носі, слиз та інші засоби захисту працюють, щоб уловити ці менші частинки, перш ніж вони проникнуть глибше в наше

тіло. Тим не менш, частинки PM 2,5 можуть потрапити в наші легені, де вони можуть досягти альвеол і зрештою потрапити в кров [3].

Забруднювачі PM 2,5 можуть надходити з різних джерел, що робить його дуже складним типом забруднення. Деякі джерела PM 2,5 випромінюють частинки безпосередньо. Відомі як «первинні джерела», до них належать лісові пожежі та деякі електростанції та промислові процеси. Однак вторинні частинки PM 2,5 утворюються, коли різні хімічні речовини поєднуються в повітрі. Хімічні речовини з вугільних електростанцій або вихлопних газів автомобілів можуть реагувати з водяною паром в атмосфері та сонячним світлом, утворюючи нові частинки або сполуки, розмір яких може бути менше 2,5 мікрон. Через безліч способів утворення частинок із хімічних сполук, а також кількість змінних факторів, таких як регіон, погода, клімат і діяльність людини, може бути майже неможливо точно знати, які хімікати присутні в частинках PM 2,5. в певний день [3].

PM10 – це суміш зважених у повітрі частинок, діаметр яких не перевищує 10 мікрограмів. Він шкідливий тим, що містить бензопірени, фурани, діоксини і, одним словом, канцерогенні важкі метали. За даними ВООЗ, граничне значення середньодобової концентрації цих твердих частинок становить 50 мікрограмів на кубічний метр, а річне гранично допустиме значення – 20 мікрограмів на кубічний метр. Однак варто зазначити, що інформація про перевищення гранично допустимих значень оголошується лише тоді, коли добова концентрація PM10 становить 200 мікрограмів на кубічний метр. Це показує, як часто люди вважають якість повітря прийнятною, навіть якщо воно дуже забруднене, лише тому, що рівень тривоги ще не досягнутий [4].

PM10 може походити з різних джерел, як у приміщенні, так і на вулиці. Три основні категорії джерел: первинні антропогенні викиди, вторинні атмосферні реакції та природні джерела. Як впливає з назви, первинні людські джерела – це випадки, коли частинки безпосередньо випромінюються в результаті діяльності людини. Деякими прикладами є пил, який здуває шахти, підсічно-вогневе сільське господарство, дорожній і будівельний пил, дров'яні печі та електростанції, що працюють на вихлопному паливі. Люди також можуть опосередковано створювати PM10 через атмосферні хімічні реакції. Інші гази можуть вступати в хімічні реакції та утворювати тверді частинки, наприклад діоксид сірки, утворюючи сульфати. У той час як деякі грубі частинки утворюються в результаті такого процесу, ці «вторинні» частинки є набагато більш поширеними для PM2,5. Існує також безліч природних джерел забруднення PM10, включаючи пилові бурі, лісові пожежі, морські бризки та пилок. У деяких частинах Африки та Близького Сходу значна частина забруднення частинками походить від пилу, що надходить із посушливих районів [5].

У даній роботі проведено аналіз взаємозв'язку між концентраціями частинок PM2.5 і PM10 у повітрі. Для цього було використано набір даних з близько 422 тисяч записів вимірювань, що дозволило докладно дослідити зв'язок між цими параметрами. Приклад структури даних подано в таблиці 1.

Таблиця 1 – Приклад структури даних з вимірювань концентрацій PM2.5 і PM10

PM2.5, мкг/м <sup>3</sup>	PM10, мкг/м <sup>3</sup>
35.92	70.93
36.19	69.96
34.1	64.03
48.84	85.59
40.93	70.07
41.37	68.81
39.74	66.28
38.89	61.64
35.42	52.76
37.65	57.79

Для подальшого розуміння взаємозв'язку між концентраціями частинок PM2.5 і PM10 у повітрі, було використано аналіз heatmap та scatter діаграму для візуалізації цих залежностей.

Теплова карта (heatmap) – це двовимірне представлення даних, у якому різні значення представлені кольорами. Проста теплова карта надає миттєвий візуальний підсумок інформації по двох осях, дозволяючи користувачам швидко досягнути найважливіші або відповідні точки даних. Досконаліші теплові карти дозволяють глядачеві зрозуміти складні набори даних. Усі теплові карти мають одну спільну рису – вони використовують різні кольори або різні відтінки одного й того самого кольору

для представлення різних значень і для передачі зв'язків, які можуть існувати між змінними, відображеними на осі X і Y. Зазвичай темніший колір або відтінок представляє більшу чи більшу кількість значення, представленого на тепловій карті [6].

Точкова діаграма (scatter діаграма) — це двовимірне графічне представлення набору даних. Графіки точкової діаграми поєднують числові дані з однією змінною на кожній осі, щоб знайти зв'язок між ними. Якщо змінні корельовані, точки будуть розташовуватися уздовж лінії або кривої. Чим краща кореляція, тим щільніше точки будуть обіймати лінію [7].

Теплову карту (heatmap) для візуалізації кореляцій між концентраціями частинок PM2.5 і PM10 у повітрі зображено на рисунку 1.1.

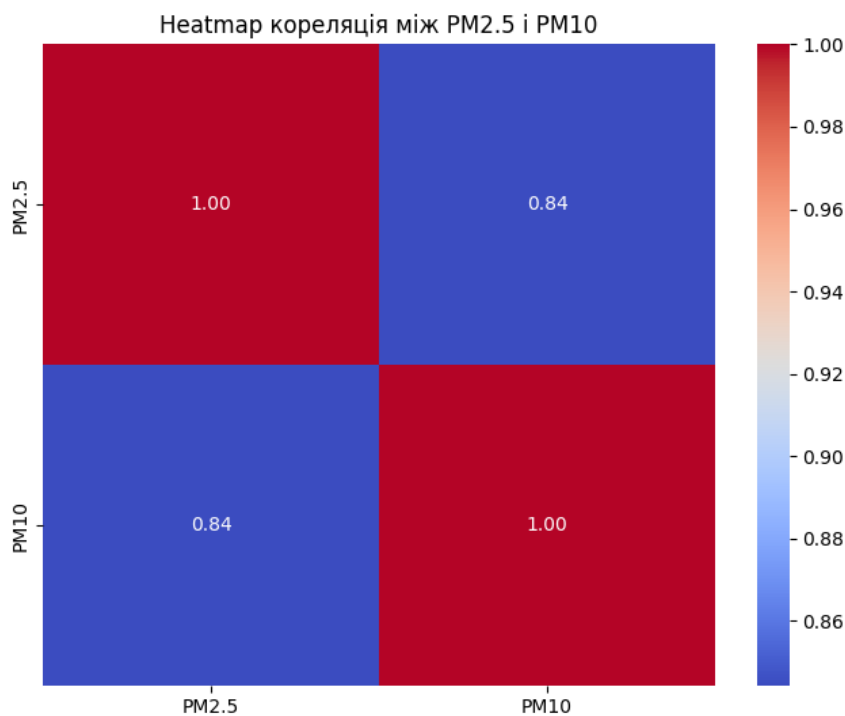


Рисунок 1.1 – heatmap кореляція між PM2.5 і PM10

На heatmap відображено значення коефіцієнта кореляції між цими параметрами, де кольори показують рівень зв'язку. Отримана кореляція між концентраціями PM2.5 і PM10 становить приблизно 0.84, що свідчить про сильну позитивну залежність між цими параметрами. Це означає, що зі збільшенням концентрації PM2.5 зазвичай спостерігається відповідне збільшення концентрації PM10.

У даному дослідженні також була побудована scatter діаграма для візуалізації зв'язку між концентраціями частинок PM2.5 і PM10 у повітрі. На scatter діаграмі показані значення обох параметрів для кожного вимірювання, що дозволяє оцінити розподіл точок та зв'язок між ними.

На scatter діаграмі можна спостерігати, що існує загальна тенденція до зростання значень PM2.5 зі збільшенням значень PM10. Починаючи з невеликих значень PM10, спостерігається поступове збільшення значень PM2.5, але в один момент, графік розділився на 2 частини, переважно більша частина PM2.5 і PM10 продовжила зростати поступово, але інша, менша частина PM10, почала зростати вже стрімко.

Розділення графіка на дві частини на scatter діаграмі може свідчити про різні механізми або джерела забруднення повітря частинками PM2.5 і PM10. Наприклад, зрізання графіка на високих значеннях PM10, де PM2.5 збільшується менш інтенсивно, може вказувати на те, що в цих умовах певний вид джерела забруднення стає домінуючим, наприклад, промисловість або дорожній транспорт. З іншого боку, більш стабільна залежність між PM2.5 і PM10 при низьких значеннях PM10 може свідчити про постійне джерело забруднення, якісне або географічне джерело, яке впливає на обидва види частинок однаково. Scatter діаграму зв'язку між концентраціями частинок зображено на рисунку 1.2.

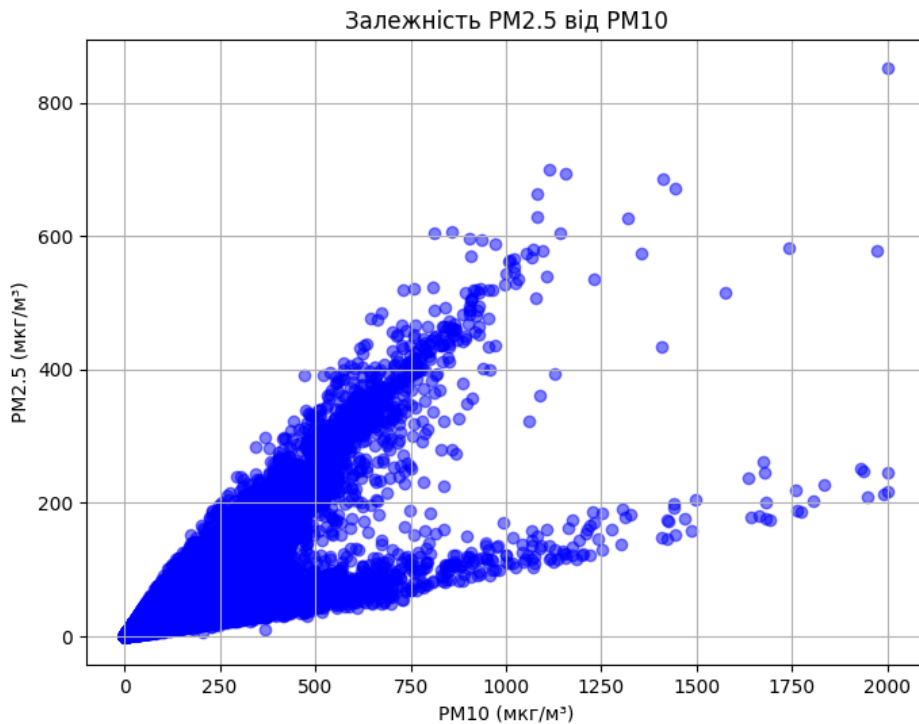


Рисунок 1.2 – scatter діаграма зв'язку між концентраціями частинок PM2.5 і PM10 у повітрі

На основі scatter діаграми можна виявити загальну позитивну кореляцію між значеннями PM2.5 і PM10, що означає, що зі збільшенням концентрації PM2.5 спостерігається тенденція до зростання значень PM10. Початкове поступове збільшення PM2.5 при невеликих значеннях PM10 може вказувати на деяку взаємодію або процес, який змінюється при зростанні концентрації PM10. Розділення графіку на дві частини може відображати наявність двох режимів залежності, де після певного порогового значення PM2.5 спостерігається значний ріст значень PM10, що може бути пов'язано з іншими умовами чи механізмами впливу на концентрацію забруднюючих частинок.

На основі аналізу heatmap і scatter діаграми можна зробити наступні висновки:

1. Показник кореляції між PM2.5 і PM10 дорівнює приблизно 0.84, що вказує на сильну позитивну залежність між цими двома параметрами. Це означає, що зі збільшенням концентрації PM10 спостерігається тенденція до збільшення значень PM2.5.

2. Подальший аналіз scatter діаграми показав, що початкове зростання PM2.5 залежно від PM10 може вказувати на існування певної взаємодії чи процесу при низьких рівнях PM10. Однак після певного порогового значення PM2.5 спостерігається різке зростання PM10, що свідчить про можливу активізацію іншого механізму або впливу.

3. Фактори, які можуть впливати на ці результати, включають: індустриальні викиди, транспорт, метеорологічні умови (такі як вітер, температура, вологість) та інші джерела забруднення повітря. Наприклад, підвищена концентрація PM10 може свідчити про інтенсивний транспорт або промислову діяльність, яка сприяє викидам частинок у повітря, що впливає на їх розподіл та взаємодію з іншими частинками.

### Висновки

У даній роботі було проведено дослідження взаємозв'язку між концентраціями частинок PM2.5 і PM10 у повітрі. Воно має велике значення для оцінки якості повітря та її впливу на здоров'я населення та навколишнє середовище. Дане дослідження підтверджує сильну позитивну кореляцію між цими частинками, що свідчить про їх взаємодію та спільне джерело походження.

Ці частинки є особливо небезпечними через їхню дрібну розмірність, яка дозволяє їм проникати глибоко в дихальні шляхи людини, що може спричинити серйозні проблеми зі здоров'ям, зокрема захворювання дихальних шляхів, серця та легень.

Отже, подальший розвиток та дослідження у даній галузі, має практичне значення для розробки та реалізації ефективних стратегій контролю за забрудненням повітря, в тому числі для підвищення якості повітря у місцях з високим рівнем забруднення.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Air pollution [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1) – Назва з екрану.
2. Inhalable Particulate Matter and Health (PM2.5 and PM10) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ww2.arb.ca.gov/resources/inhalable-particulate-matter-and-health> – Назва з екрану.
3. What Is PM 2.5 and How Can You Reduce Your Exposure? [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://molekule.com/blogs/all/what-is-pm-2-5-and-how-can-you-reduce-your-exposure> – Назва з екрану.
4. What is PM2.5 and PM10? Info about particulate matter (particle pollution) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://airly.org/en/what-is-pm10-and-what-is-pm2-5/> – Назва з екрану.
5. PM10 and Air Quality: What is the Impact of Coarse Particles (Particulate Matter) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://learn.kaiterra.com/en/air-academy/pm10-particulate-matter-pollutes-air-quality> – Назва з екрану.
6. heat map (heatmap) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.techtarget.com/searchbusinessanalytics/definition/heat-map> – Назва з екрану.
7. What Is a Scatter Diagram and How to Read It? [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://businessmap.io/lean-management/lean-manufacturing/root-cause-analysis/scatter-diagram> – Назва з екрану.

**Лобода Максим Олександрович** — студент групи ICT-206, кафедра автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, Вінниця. e-mail: [loboba12392@gmail.com](mailto:loboba12392@gmail.com)

**Кулик Ярослав Анатолійович** – к.т.н., доцент кафедри Автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій, Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [kulyk.y.a@vntu.edu.ua](mailto:kulyk.y.a@vntu.edu.ua)

**Loboda Maksym Oleksandrovych** — Faculty of Intelligent Information Technology and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, e-mail: [loboba12392@gmail.com](mailto:loboba12392@gmail.com)

**Kulyk Yaroslav Anatoliyovych** – Associate Professor of Automation and Intelligent Information Technologies Department, Faculty of Intelligent Information Technology and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [kulyk.y.a@vntu.edu.ua](mailto:kulyk.y.a@vntu.edu.ua)