

АНАЛІЗ АЕРОЗОЛЬНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ВІННИЦІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі досліджено стан аерозольного забруднення міста Вінниці дрібнодисперсними аерозольними частинками діаметром 10 мкм (PM10) і 2,5 мкм (PM2.5).

Ключові слова: аерозольне забруднення, дрібнодисперсні аерозолі, газопилові викиди.

Abstract

In this work the state of aerosol pollution of the city of Vinnytsia is investigated by fine particles aerosol time-wise diameters of 10 micrometers (PM10) and 2.5 microns (PM2.5).

Keywords: aerosol pollution, fine aerosols, gas-dust emissions.

Вступ

Згідно даних Вінницького обласного центру з гідрометеорології понад 35 % викидів в атмосферне повітря (від їх загальної кількості) на території області – це викиди автотранспорту, ще близько 45 % – викиди Ладижинської ТЕС та понад 3 % – викиди магістральних газопроводів. Викиди усіх інших підприємств області становлять близько 13 %.

Що ж стосується м. Вінниці, то доля автотранспорту в забрудненні атмосферного повітря сягає 90%. Найбільша частка 78 % викидів забруднюючих речовин припадає на автотранспорт, який працює на бензині.

Крім газового забруднення, спостерігається неухильне «запилення» повітряного середовища, внаслідок збагачення його аерозолями. Маса твердих часток, що надійшла в повітря від усіх джерел викидів, становила у 2023 році 12,4 тис. тонн [1]. Таким чином, метою даної роботи є дослідження аерозольного забруднення Вінниці, яке становить потенційну загрозу для довкілля та людини.

Результати дослідження

У сучасних умовах, на екологічну якість повітря у містах світу в значній мірі впливають викиди автотранспорту і місто Вінниця не виняток. Нині доля автотранспорту в забрудненні атмосферного повітря міста сягає до 90 %. Основними складовими вихлопних газів двигунів внутрішнього згоряння є: азот, вуглекислий газ, монооксид вуглецю, оксиди азоту, вуглеводні, альдегіди, сажа, бензопірен, також може міститись свинець, бром, хлор, та їх сполуки. У великих містах викиди автотранспорту є причиною виникнення смогу – аерозолі, що складається з диму, туману і пилу (дрібнодисперсних частинок).

Дрібнодисперсні частинки діаметром менше 10 мкм (PM10) і 2,5 мкм (PM2.5) по праву вважаються одним з небезпечних видів забруднення атмосферного повітря, що вимагають систематичного контролю. Такі частинки тривалий час знаходяться в повітрі, переносяться на великі відстані і легко долають захисні бар'єри людського організму, проникаючи глибоко в легені.

Рух автомобілів по дорогах також є значущим техногенним джерелом утворення дрібнодисперсних аерозолів. Висока турбулентність повітряних потоків, обумовлена рухом транспорту на автомагістралях, сприяє вторинному забрудненню повітря дрібнодисперсними частинками, які утворюються в результаті стирання дорожніх покриттів, автомобільних шин, гальмівних колодок, а також викидів вихлопних систем. Хімічний склад і кількість пилу залежать від матеріалів дорожнього покриття. Найбільша кількість пилу створюється на ґрунтових і гравійних дорогах. Дороги з гравійним покриттям утворюють пил, що складається в основному з діоксиду кремнію. У містах на дорогах з асфальтобетонним покриттям до складу пилу додатково входять продукти зносу в'язучих бітумвісних матеріалів, частинки матеріалів від ліній розмітки дороги.

В Україні гігієнічне нормування PM10 і PM2.5 прийнято у 2014 році (в результаті підписання угоди про асоціацію між Україною та ЄС), в той час як в США та Європейському союзі (ЄС) таке нормування існує вже багато років і супроводжується великою кількістю спостережень, досліджень, ме-

тодичних розробок, які стосуються, зокрема, і діяльності автомобільного транспорту. Велику увагу гігієнічному значенню дрібнодисперсних частинок приділяє Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ). Зіставлення існуючих на сьогодні нормативних вимог вмісту PM10 і PM2.5, а також загального вмісту завислих речовин (TSP) в повітрі представлено в таблиці 1 [2,3].

Таблиця 1 – Гранично допустимі концентрації TSP, PM10, PM2.5 в атмосферному повітрі в Україні, США, ЄС і за рекомендаціями ВООЗ

Речовина	Час усереднення	Україна, мг/м ³	ВООЗ, мг/м ³	США, мг/м ³	ЄС, мг/м ³
Завислі речовини (TSP)	20 хв.	0,50	—	—	—
	24 год.	0,15	—	0,26	—
	1 рік	—	—	0,075	—
Завислі речовини PM10	20 хв.	—	—	—	—
	24 год.	—	0,050	0,150 (концентрація не повинна перевищуватись більше 1 разу за 3 роки)	0,050 (концентрація не повинна перевищуватись більш 35 разів протягом року)
	1 рік	—	0,020	—	0,040
Завислі речовини PM2.5	20 хв.	—	—	—	—
	24 год.	—	0,025	0,035 (98% за 3 роки)	—
	1 рік	—	0,010	0,015 (середня за 3 роки)	0,025

В даний час в Україні робляться лише перші кроки по систематичному контролю концентрацій PM10 і PM2.5 в атмосферному повітрі і, як на позитивні зрушення в цьому напрямку, можна вказати на появу методик і початок організації моніторингу PM10 і PM2.5 у великих містах країни. Водночас на сьогодні відсутні затверджені методики розрахунку викидів PM10 і PM2.5 для основних видів діяльності, які є причиною значного пилоутворення, в тому числі і для руху транспорту по автомобільним дорогам. Ця обставина перешкоджає можливості виконання необхідних прогностичних оцінок забруднення навколишнього середовища, не дозволяє визначити пріоритетні дії щодо поліпшення якості атмосферного повітря. Невирішеним залишається питання про те, наскільки актуальною є проблема забруднення частинками PM10 і PM2.5 і наскільки необхідна організація моніторингу цих частинок біля автомобільних доріг.

В цих умовах було виконано серію вимірювань концентрацій PM10 та PM2,5 на вулицях міста Вінниці біля автомобільних доріг, а також у лісовому масиві. Місця здійснення вимірювань зображено на рисунку 1.

Для проведення дослідження було вибрано чотири райони міста з великою густиною автотранспорту, а також лісовий масив, як місце в якому вміст дрібнодисперсного пилу PM10 та PM2.5 теоретично має бути найменшим.

Вимірювання масової концентрації зважених частинок PM10 і PM2.5 в атмосферному повітрі міста виконувалося з використанням аерозольного аналізатора DustTrak, модель 8520. Також з допомогою приладу CEM DT-9880 (лічильник часток) було підраховано кількість частинок різного розміру у повітрі.

Аерозольний аналізатор DustTrak вимірює дрібнодисперсні частинки в найрізноманітніших середовищах, від офісів і промислових підприємств до зовнішніх дворів та будівельних майданчиків. DustTrak TSI забезпечує надійну оцінку впливу шляхом вимірювання концентрації частинок, відповідно PM10, PM2.5, PM1.0 або інших розмірних фракцій. Діапазон вимірювань становить від 0,001 до 100 мг/м³.

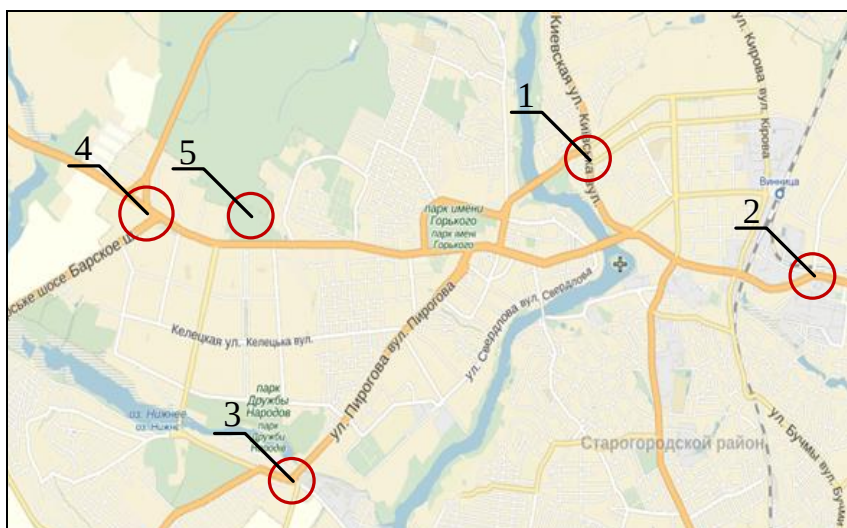


Рис. 1 – Місця проведення вимірювань: 1 – вул. Київська; 2 – вул. Немирівське шосе; 3 – вул. Пирогова (Електромережа); 4 – вул. Хмельницьке шосе; 5 – Лісопарк

Відбір проб проводився в умовах вітряної погоди (1,2 м/с – мінімальна швидкість вітру, так як пил переноситься з вітровим потоком) і при відсутності опадів (дощу, снігу) з підвітряного боку дороги на двох висотах (0,1 і 1,5-2 м), одночасно визначалися метеопараметри (вологість, тиск, швидкість вітру, температура), інтенсивність руху автотранспорту, фіксувався час відбору проб. Проведення вимірювань протягом доби було поділено на три часових періоди: вранці (8-9 година), в обідній час (13-14 година) та ввечері (17-18 година).

За результатами вимірювань було побудовано графіки (рисунок 2 і 3), які відображають величини концентрацій PM_{10} та $PM_{2.5}$ у різних районах міста, на різній висоті, протягом доби. Отримані результати свідчать, що концентрації аерозолів розміром 10 мкм і 2,5 мкм у більшості вимірювань на висоті 0,1 м. трішки більші ніж на висоті 1,5-2 м., що свідчить про їх осідання. Що ж стосується зміни концентрацій протягом доби, то у ранкові години (8-9 год.) концентрації у переважній кількості вимірювань вищі ніж у обідні години (13-14 год.), що пов'язано з більшою завантаженістю автомобільних доріг. У вечірній час (17-18 год.) знову відбувається загальне зростання концентрації аерозольних частинок, що є результатом повернення населення з місць роботи і як наслідок збільшення кількості автотранспорту.

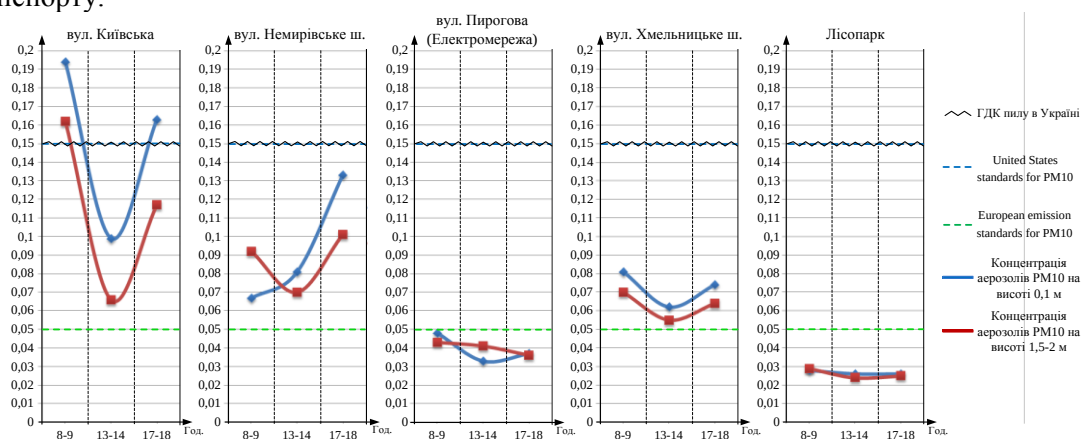


Рис. 2 – Графіки зміни величини концентрації дрібнодисперсних частинок розміром 10 мкм (PM_{10}) у різних районах м. Вінниці

Як видно з рисунку 2 перевищення концентрації аерозолів розміром 10 мкм (PM_{10}) за європейськими нормативами (ГДК – $0,05 \text{ мг/м}^3$) спостерігається у трьох місцях вимірювань: вул. Київська, вул. Немирівське шосе, вул. Хмельницьке шосе; перевищення відсутнє на: вул. Пирогова (Електромережа) та у лісовому масиві «Лісопарк».

За нормативами США для частинок розміром 10 мкм (ГДК – $0,150 \text{ мг/м}^3$) часткове перевищення спостерігалось лише на вул. Київська.

З отриманих результатів можна зробити висновок, що стандартам якості повітря США і ЄС за PM_{10} відповідає вул. Пирогова (Електромережа), а також повітря у лісовому масиві «Лісопарк».

Що ж до концентрації аерозольних частинок розміром 2,5 мкм (PM2.5) то у нормативах ЄС нормування відбувається лише за рік і ГДК для них становить 0,025 мг/м³, що відповідає нормативу ВООЗ за 24 години.

Згідно рисунку 3 перевищення концентрації аерозольних частинок розміром 2,5 мкм (PM2.5) за нормативом ВООЗ (ГДК – 0,025 мг/м³) спостерігається у чотирьох місцях вимірювань: вул. Київська, вул. Немирівське шосе, вул. Хмельницьке шосе, вул. Пирогова (Електромережа); перевищення відсутнє лише у лісовому масиві «Лісопарк».

За нормативами США для частинок розміром 2,5 мкм (ГДК – 0,035 мг/м³) перевищення спостерігалось також у чотирьох місцях вимірювань: вул. Київська, вул. Немирівське шосе, вул. Хмельницьке шосе, вул. Пирогова (Електромережа) і відсутнє перевищення лише у лісовому масиві «Лісопарк».

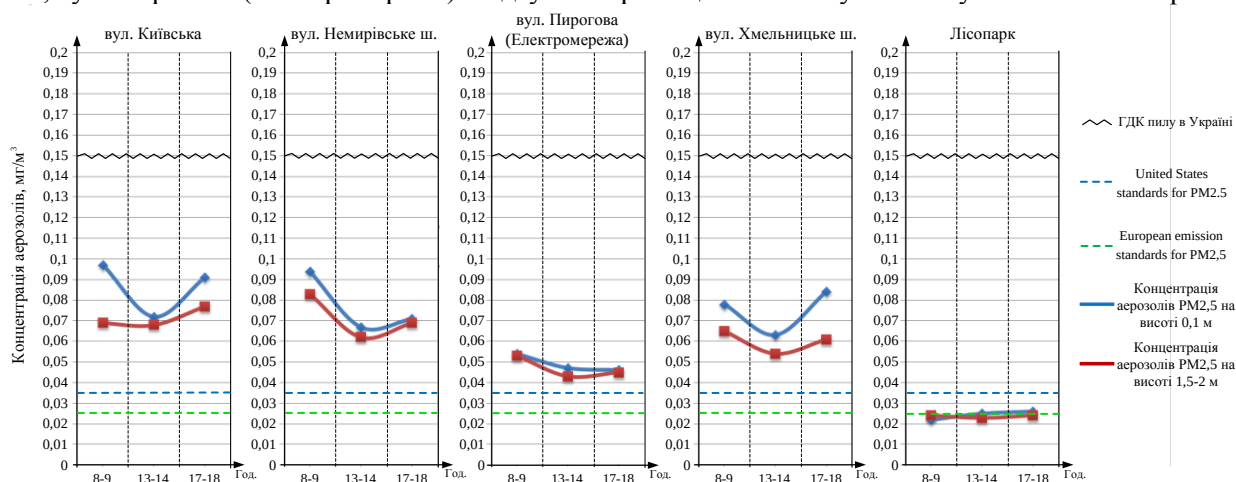


Рис. 3 – Графіки зміни величини концентрації дрібнодисперсних частинок розміром 2,5 мкм (PM2.5) у різних районах м. Вінниці

Загалом, оцінюючи перевищення ГДК для PM10 і PM2.5 у різних районах м. Вінниці, можна зробити висновок, що найзапиленішою є: вул. Київська (1,4-3,1 ГДК для PM10 і 2,3-2,8 ГДК для PM2.5) і вул. Немирівське шосе (1,3-2,3 ГДК для PM10 і 2,2-2,7 ГДК для PM2.5).

Що до загального вмісту завислих речовин (TSP) згідно даних Вінницького обласного центру з гідрометеорології, які проводять моніторинг атмосферного повітря у м. Вінниці двома постами типу «Пост-2» (вул. Київська і вул. Немирівське шосе), їх концентрації наведені на рисунку 4.

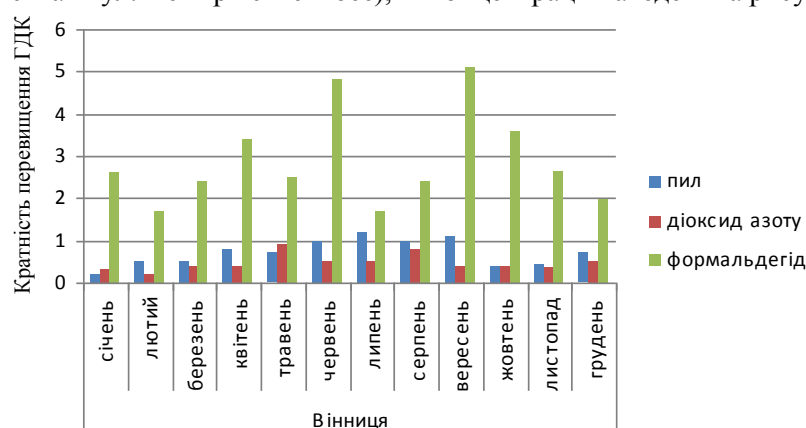


Рис. 4 – Динаміка зміни забруднення атмосферного повітря м. Вінниці [1]

Згідно рисунку 4 середньомісячні концентрації пилу у м. Вінниці у 2023 році були перевищені у липні і у вересні, і становили 1,2 ГДК і 1,1 ГДК відповідно.

Зі стаціонарних джерел за 2023 рік у місті Вінниця найбільше в атмосферне повітря потрапило пилу насіння олійних культур – 43,24 т/рік від підприємства ПАТ «Вінницький олійножировий комбінат».

Згідно даних Вінницького обласного центру з гідрометеорології забруднення атмосферного повітря Вінниця перебуває у стані представленому у таблиці 2.

Таблиця 2 – Середньомісячні концентрації забруднювальних речовин в атмосферному повітрі м. Вінниця (в кратності ГДК с.д.) за лютий 2025 року і в порівнянні з лютим 2024 року [5]

Домішки	Номери ПСЗ		По місту	
	1	2	2025 рік	2024 рік
	середньомісячні концентрації в кратності ГДК			
завислі речовини	0,8	0,7	0,7	0,9
діоксид сірки	0	0	0	0,0
оксид вуглецю	0,5	0,4	0,4	0,2
діоксид азоту	1,4	0,9	1,2	2,7
фтористий водень	0,8	1,1	0,9	1,2
аміак	не визначається	0,3	0,3	0,1
формальдегід	3,3	не визначається	3,3	1,8

Дані аерозольного забруднення атмосферного повітря Вінниці у вигляді середньомісячних значень завислих речовин на рівні $0,7 \div 0,9$ ГДК демонструє недостатню кількість вибірових спостережень. Середньомісячні концентрації забрудників повітря не відображають добової динаміки забруднення атмосферного повітря і не можуть забезпечити екологічний моніторинг повітря, а тільки вибіровий контроль.

Висновки

Основний вплив аерозольних забруднень атмосферного повітря здійснюється на органи дихання населення. Серед структури первинної захворюваності на хвороби органів дихання хворіють (44,12 %) хворих, системи кровообігу (7,22 %), травми, отруєння та деякі інші наслідки дії зовнішніх чинників (6,7 %), хвороби сечостатевої системи (6,46%), хвороби шкіри та підшкірної клітковини (5,81%), хвороби ока та його придаткового апарату (4,97 %), хвороби кістково-м'язової системи та сполучної тканини (4,63 %), хвороби органів травлення (4,05 %) та інші [4]. Аналізуючи стан здоров'я населення України, найбільш поширеним захворюванням є захворювання органів дихання на котрі хворіють близько 11 млн. українців.

Отже, для комплексної екологічної оцінки впливу техногенних аерозолів на стан здоров'я населення необхідні об'єктивні дані забруднення атмосферного повітря техногенними аерозолями отриманими в режимі реального часу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Департамент екології та природних ресурсів Вінницької області / Доповідь про стан навколишнього природного середовища у Вінницькій області. – Вінниця, 2023.
2. Директива N 2008/50/ЄС Європейського Парламенту та Ради щодо якості атмосферного повітря та заходів його очищення. Європейський Союз. Страсбург, 21 травня 2008 року.
3. ВООЗ, Європейський центр з довкілля та охорони здоров'я / Рамковий план організації моніторингу завислих речовин в атмосфері у країнах Східної Європи, Кавказу та Центральної Азії. - Бонн, 2006.
4. Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Васильківський І. В., Слободиський А. П. Вплив техногенних аерозолів на динаміку легеневих захворювань населення України / "IV Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю" (Екологія/Ecology-2013), 25–27 вересня, 2013. Збірник наукових статей. – Вінниця: Видавництво-друкарня Діло, 2013. – С. 464-466.
5. Щомісячний бюлетень забруднення атмосферного повітря міста Вінниці за лютий 2025 року № 2. <https://www.vmr.gov.ua/ecology>

Зелінський Дмитро В'ячеславович – аспірант кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: dizelinskiy@gmail.com

Васильківський Ігор Володимирович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: igor.vntu@gmail.com

Dmytro V. Zelinsky – Postgraduate of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: dizelinskiy@gmail.com

Igor V. Vasylykivskiy – Ph.D., Docent, Associate Professor of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: igor.vntu@gmail.com