

УДК 622.457:519.6

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.261223.84.1008

МОНІТОРИНГ ТА АНАЛІТИКА ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ЖИТЛОВИХ ЗОН В УМОВАХ ВПЛИВУ ВИКИДІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ТА МЕТАЛУРГІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА

ЛЕВИЦЬКА О. Г.^{1*}, канд. техн. наук, доц.,
РУСАКОВА Т. І.², докт. техн. наук, проф.

^{1*}Кафедра безпеки життєдіяльності, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, пр. Гагаріна, 72, 49010, Дніпро, Україна, e-mail: LLevi@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-2598-3651

²Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, пр. Гагаріна, 72, 49010, Дніпро, Україна, e-mail: rusakovati1977@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5526-3578

Анотація. Оцінка рівня забруднення атмосферного повітря у житлових зонах урбанізованого міста дозволяє визначити основні забруднювальні речовини, що містяться у повітрі, та скорегувати або вдосконалити очисне обладнання джерел викиду. **Мета роботи:** дослідження впливу загального рівня забруднення атмосферного повітря, зумовленого шкідливими домішками, що надходять від центральної дороги із потужним трафіком та промислового об'єкта, на якість повітря житлових зон м. Кам'янське. **Методика.** В роботі використано аналізатори якості повітря Benetech GM 8804, Wintact wt 8811, Benetech GM 8806 для визначення концентрації сірководню, оксиду вуглецю, аміаку, формальдегіду, пилу (PM 2.5), горючих газів (LEL). Точки відбору обирались у житлових зонах: у приміщенні, на прибудинковій території та біля дороги. **Наукова новизна.** В ході досліджень виявлено, що житлова зона, розташована ближче до промислового об'єкта та до центральної частини міста із торговими центрами, має порівняно вищі показники LEL та нижчі показники вмісту кисню у повітрі. Динаміка зміни рівня забруднення повітря із часом не висока. **Практична значимість.** Моніторинг та аналітика рівня забруднення повітря сприяє виявленню небезпечних хімічних речовин у повітрі житлової зони, закономірностей зниження вмісту кисню та динаміки зміни вмісту горючих газів у повітрі із часом та із зміною відстані до джерела забруднення. **Результати.** Встановлено, що у повітрі житлових зон відсутні сполуки сірководню, оксиду вуглецю, аміаку, формальдегіду, оскільки значення концентрації цих речовин нижче рівня сприйняття вимірювальних приладів. Одночасно виявлено сліди пилу. Зафіксовано зниження вмісту кисню у приміщеннях та в атмосферному повітрі біля доріг. Вміст горючих газів (LEL) у досліджених приміщеннях у більшості проб вищий, ніж на вулиці.

Ключові слова: аналізатор; забруднення; приміщення; пил; газу

MONITORING AND ANALYSIS OF ATMOSPHERIC AIR POLLUTION OF RESIDENTIAL AREAS IN THE CONDITIONS OF INFLUENCE OF EMISSIONS OF VEHICLES AND METALLURGICAL ENTERPRISE

LEVYTSKA O.H.^{1*}, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,
RUSAKOVA T.I.², Dr. Sc. (Tech.), Prof.

^{1*}Department of Life Safety, Oles Honchar Dnipro National University, 72, Haharina Ave., Dnipro, 49010, Ukraine, e-mail: LLevi@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-2598-3651

²Department of Life Safety, Oles Honchar Dnipro National University, 72, Haharina Ave., Dnipro, 49010, Ukraine, e-mail: rusakovati1977@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5526-3578

Abstract. Assessment of the level of air pollution in the residential areas of an urbanized city allows to determine the main pollutants contained in the air and allows to adjust or improve the cleaning equipment of emission sources. **The purpose of the work:** research of the general level of air pollution in the zone of influence of the central road with heavy traffic and an industrial facility on the air quality of residential areas of the city of Kamianske. **Methodology.** The work used air quality analyzers Benetech GM 8804, Wintact wt 8811, Benetech GM 8806 to determine the presence (concentration) of hydrogen sulfide, carbon monoxide, ammonia, formaldehyde, dust (PM 2.5), combustible gases (LEL). Sampling points were chosen in residential areas: indoors, on the adjacent territory and near the road. **Scientific novelty.** In the course of research, it was found that the residential area, which is located closer to the industrial facility and to the central part of the city with shopping centers, has relatively higher LEL indicators and lower indicators of

oxygen content in the air. The dynamics of changes in air pollution over time are not high. **Practical value.** Monitoring and analysis of the level of air pollution contributes to the detection of dangerous chemicals in the air of a residential area, the patterns of decreasing oxygen content and the dynamics of changes in the content of combustible gases in the air over time and with a change in the distance to the source of pollution. **Results.** It was found that the air of residential areas does not contain compounds of hydrogen sulfide, carbon monoxide, ammonia, and formaldehyde sufficient for the measurement range of analytical devices. Traces of dust were detected. Recorded decrease in oxygen content indoors and in atmospheric air near roads. The content of combustible gases (LEL) in the studied premises in most samples is higher than outside.

Keywords: *parser; pollution; premise; dust; gases*

Постановка проблеми. Питання забруднення атмосферного повітря з часом збільшують свою актуальність. На стан повітря житлових зон в першу чергу впливають промислові об'єкти та транспорт. Кам'янське – урбанізоване місто з розвинутою транспортною мережею та наявністю потужних промислових об'єктів (металургійної, коксохімічної, хімічної галузей), що сконцентровані переважно у правобережній частині. Зростання населення за рахунок переселених осіб із регіонів, у яких ведуться бойові дії, сприяє збільшенню трафіку на дорогах.

Серед забруднювальних речовин, що містяться у газових викидах промислових підприємств та транспортних засобів, є сполуки сірки, вуглецю, азоту, пил тощо. У місті поступово вирішуються питання щодо облаштування постів спостереження за станом атмосферного повітря, однак питання збільшення кількості таких споруд та розширення спектра забруднювальних речовин, що підлягають моніторингу, залишаються актуальними.

Аналіз публікацій. Транспорт і промисловість мають постійний негативний вплив на якість повітря [1; 2]. Автори статті [3] повідомляють про значну різницю температур між міською територією та прилеглими сільськими регіонами як характерну рису урбанізації. Часті викиди забруднювальних речовин у містах включають CO₂, CO, H₂S, NO₂, PM 2.5, LEL. У статті [4] зазначено, що концентрація CO в промисловій зоні (Райпур, столиця штату Чхаттісгарх, Індія) вища за нормативне значення. Автори статті [5] з 2000 по 2014 роки досліджували динаміку зміни рівня PM 2.5 в повітрі у понад 600 містах.

Установлено, що площа метрики найбільше впливає на динаміку забруднення повітря на ранньому етапі розвитку міста, метрики агрегації – на перехідному етапі, метрики форми – на завершальному етапі. У статті [6] говориться, що перехрестя – це зони з найвищим рівнем впливу PM 2.5, що негативно впливає на водіїв та пасажирів під час дорожнього руху.

У праці [7] йдеться про необхідність регулювання забруднення PM 2.5 та запропоновано методи оцінювання рівня таких частинок. У праці [8] говориться, що 19 % річних викидів сірки (SO₂ + H₂S) у Салоніках (Греція) є у формі H₂S. У статті [9] запропоновано модель Advanced Regional Prediction System (ARPS) для розрахунку концентрації H₂S. Оскільки сірководень має неприємний запах, це збільшує соціальні скарги у Фрай-Бентос і Гуалегуайчу в Аргентині.

Важливий компонент в оцінюванні якості повітря – визначення рівня летких горючих газів. І, звісно, високі ризики існують у промислових зонах. За дослідженнями, поданими у [10], з'ясовано, що території, розташовані в зоні впливу промислових об'єктів, що є джерелами летких горючих газів, у багатьох містах не піддаються моніторингу, однак вірогідність збільшення рівня таких речовин залишається високою.

Мета роботи – визначення вмісту забруднювальних речовин у повітрі житлових зон у зоні впливу центральної міської дороги та металургійного комбінату, аналіз отриманих даних для об'єктів моніторингу, розташованих на різних відстанях від джерел імовірного забруднення.

Методика. Для досліджень обрано житлові райони м. Кам'янське в зоні впливу металургійного комбінату. Житлові будинки розташовані на різних відстанях від промислового об'єкта та від центральної дороги міста. Враховуючи різну частоту трафіку протягом доби, вимірювання проводили о 8:00, 13:00 та 18:00, в період із найвищою щільністю транспортних засобів на дорозі.

Вимірювали хімічні речовини, що є типовими забруднювачами атмосферного повітря урбанізованих екосистем: формальдегід, аміак, оксид вуглецю, сірководень, сукупність горючих газів. Також визначали вміст пилу PM 2.5, рівень якого може збільшуватись у повітрі за рахунок викидів металургійного комбінату. Якість повітря зумовлюється вмістом O₂. Зважаючи на потужний трафік та вплив промислового об'єкта, важливо перевірити динаміку можливого зниження вмісту кисню у повітрі.

Для вимірювання шкідливих чинників використовували газоаналізатори, що дозволяють виміряти концентрацію чи якість газоподібної речовини. Їх можна використовувати як у різних галузях промисловості, так і для моніторингу навколишнього середовища, щоб оцінити показники з точки зору безпеки працівників, технологічних процесів, безпеки проживання населення в зоні впливу стаціонарних та пересувних джерел забруднення атмосферного повітря.

Вміст формальдегіду та PM 2.5 у повітрі населеного пункту визначено за допомогою портативного аналізатора Benetech GM 8804. Основні технологічні характеристики та діапазон вимірювання наведені в таблиці 1.

Вміст кисню, оксиду вуглецю, сірководню, горючих газів визначали за допомогою портативного аналізатора Wintact wt 8811. Основні технологічні характеристики та діапазон вимірювання наведені в таблиці 2.

Вміст аміаку визначали за допомогою портативного аналізатора Benetech GM 8806. Основні технологічні характеристики

та діапазон вимірювання наведені в таблиці 3.

Таблиця 1

Основні технологічні характеристики та діапазон вимірювання портативного аналізатора Benetech GM 8804

Речовина, що вимірюється	Параметри вимірювання	Значення параметрів вимірювання
PM 2.5	діапазон	0–5 000 мкг/м ³
	розширення	1 мкг/м ³
	мінімальний розмір частинок, що ресструються	0.3 мкм
НСНО	діапазон	0–1 мг/м ³
	розширення	0.01 мг/м ³

Таблиця 2

Основні технологічні характеристики та діапазон вимірювання аналізатора Wintact wt 8811

Речовина, що вимірюється	Параметри вимірювання	Значення параметрів вимірювання
O ₂	діапазон	0–30 % Vol
	розширення	0.1 %
LEL	діапазон	0–1 мг/м ³
	розширення	0.01 мг/м ³
CO	діапазон	0–1000 μmol/mol
	розширення	1 μmol/mol
H ₂ S	діапазон	0–100 μmol/mol
	розширення	0.1 μmol/mol

Таблиця 3

Основні технологічні характеристики, діапазон вимірювання аналізатора Benetech GM 8806

Речовина, що вимірюється	Параметри вимірювання	Значення параметрів вимірювання
NH ₃	діапазон	0–100 ppm
	розширення	1 ppm

За отриманими результатами проведено порівняння із гранично допустимими значеннями та наведено висновки щодо можливості впливу викидів промислового підприємства та двигунів внутрішнього згорання автотранспорту на стан забруднення атмосферного повітря у житлових зонах міста.

Результати. Стан атмосферного повітря проаналізовано у житлових зонах (обирались точки у приміщенні, на прибудинковій території, біля дороги). Карта-схема показана на рисунку 1. Вміст

формальдегіду у повітрі приміщення та біля дороги приладами не виявлений. Зокрема, відсутність формальдегіду у досліджених приміщеннях із високою вірогідністю зумовлена використанням безпечних будівельних матеріалів та меблів, що не містять навіть у мінімальних кількостях фенолформальдегідні смоли.

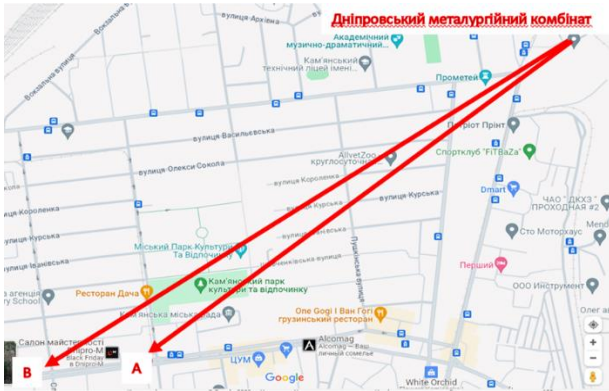


Рис. 1. Карта-схема із ситуаційним розташуванням досліджених зон: А, В – житлові зони

Вміст пилу у досліджуваних приміщеннях, прибудинкових зонах та біля дороги за результатами проведених досліджень або відсутній, або перебуває в межах мінімального розміру часток, що реєструються.

Встановлено, що пил повністю відсутній о 8:00 та 13:00 у повітрі прибудинкової території житлої зони В, тоді як для житлової зони А в цей час рівень РМ 2.5 фіксується в межах мінімального розміру реєстрованих частинок. Вірогідно, що у повітрі в районі житлової зони А може бути зареєстрований пил із частинками більшого або меншого розміру, ніж реєструється аналізатором у режимі РМ 2.5.

Вміст кисню у повітрі приміщення, подвір'я та дороги (% VOL), показаний у таблиці 4. З метою отримання більш точних результатів вимірювання в кожній точці проводились по три рази.

Таблиця 4

Вміст кисню у повітрі приміщення, подвір'я та дороги (у трьох пробах), % VOL

Час вимірювання	Приміщення		Двір		Дорога	
	А	В	А	В	А	В
8:00	20.2	20.3	20.7	20.6	20.6	20.6
	20.4	20.4	20.6	20.7	20.6	20.7
	20.4	20.4	20.6	20.7	20.7	20.7
13:00	20.4	20.5	20.4	20.7	20.5	20.7
	20.4	20.4	20.4	20.7	20.4	20.7
	20.5	20.5	20.5	20.7	20.5	20.7
18:00	20.4	20.5	20.5	20.5	20.5	20.7
	20.4	20.4	20.5	20.6	20.6	20.7
	20.5	20.5	20.5	20.7	20.6	20.6

Таким чином, за результатами усіх проведених вимірювань вміст O_2 у повітрі нижчий за 21 % Vol. Встановлено, що зранку в обох досліджуваних приміщеннях вміст кисню нижчий, ніж в обідній час та ввечері, що говорить про необхідність провітрювати приміщення щоранку. Загалом вміст кисню у житловій зоні А, яка ближче до промислового об'єкта, дещо нижчий, ніж у зоні В.

Усереднені результати по вмісту кисню у повітрі приміщення, двору та дороги житлових зон А та В показані на рисунках 2–3. З рисунка 2 можна бачити, що найменший відсоток кисню визначений у приміщенні.

Поза приміщенням вміст кисню в атмосферному повітрі вищий.

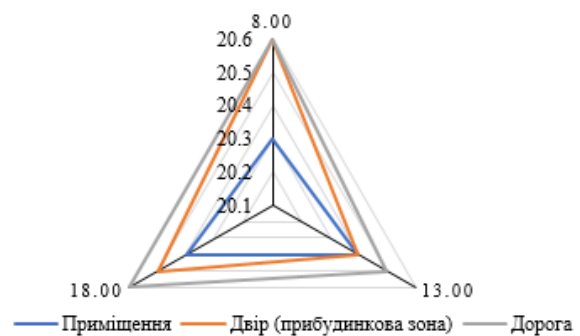


Рис. 2. Усереднені результати по вмісту кисню в атмосферному повітрі приміщення, двору та дороги у житловій зоні А, % VOL

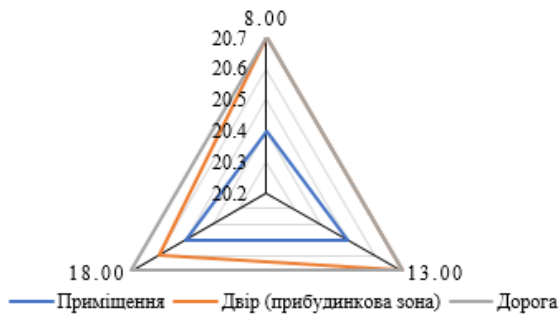


Рис. 3. Усереднені результати по вмісту кисню в атмосферному повітрі приміщення, двору та дороги у житловій зоні B, % VOL

Найнижчі показники по кисню фіксуються о 13:00. В цей період вірогідно промислове підприємство працює із високою інтенсивністю, а трафік стає найбільш потужним. Зранку і ввечері фіксуються порівняно високі показники кисню.

З рисунка 3 видно, що найнижчі показники кисню визначені також у приміщенні. При цьому відсутній спад

вмісту кисню у повітрі у обідній час, що можливо пояснити нижчою завантаженістю дороги та більшою відстанню до промислового об'єкта. Окрім невеликого зниження вмісту кисню о 18:00 у прибудинковій зоні, а поза приміщенням фіксуються порівняно високі показники кисню.

Порівнюючи рисунки 2 та 3, слід зазначити, що спостерігається схожий вміст кисню в обох приміщеннях та більш високий вміст кисню у повітрі житлової зони B, де менш потужний трафік руху автотранспорту та більша відстань від промислового об'єкта порівняно із зоною A.

Зафіксовані показники LEL (вміст горючих газів) у повітрі приміщення, подвір'я та дороги, % VOL, наведено у таблиці 5. Вимірювання в кожній досліджуваній точці проводились три рази.

Таблиця 5

Вміст горючих газів у повітрі приміщення, подвір'я та дороги (у трьох пробах), % LEL

Час вимірювання	Приміщення		Двір		Дорога	
	A	B	A	B	A	B
8:00	1.7	1.8	1.4	1.2	2.0	1.8
	1.7	1.6	1.3	1.2	1.6	1.5
	1.6	1.4	1.2	1.0	1.4	1.2
13:00	1.9	2.0	1.6	1.3	1.8	1.6
	1.8	1.9	1.5	1.0	1.6	1.8
	1.5	1.6	1.4	0.9	1.3	0.8
18:00	1.9	2.0	1.8	1.5	1.7	1.6
	1.9	1.9	1.6	1.3	1.4	1.2
	1.9	1.8	1.5	1.0	1.0	0.9

Таким чином, вміст горючих газів у повітрі зони A, що ближче до дороги із потужним трафіком руху транспорту та до промислового об'єкта, практично в усіх пробах в обідній час та ввечері вищий, ніж у житловій зоні B. Зранку показники LEL практично однакові для зон A та B. В цей час зазвичай менш потужний трафік, ніж в обідній час та ввечері, оскільки виробнича діяльність вночі та зранку менш інтенсивна, ніж протягом робочого часу.

Усереднені результати по вмісту горючих газів у повітрі приміщення, подвір'я та дороги житлових зон A та B показані на рисунках 4, 5.

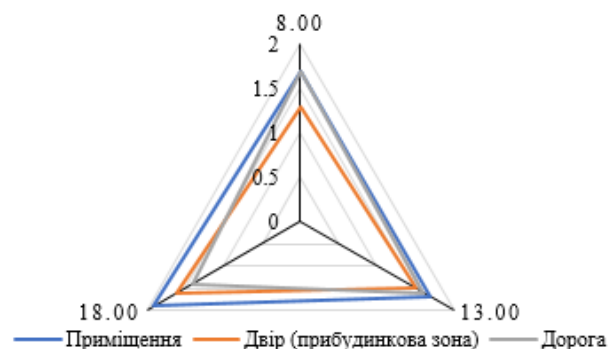


Рис. 4. Усереднені результати по вмісту горючих газів в атмосферному повітрі приміщення, двору та дороги житлової зони A, % LEL

З рисунка 4 видно, що вміст горючих газів вищий у приміщенні в обідній час та

ввечері. В обідній час найнижчі показники LEL зафіксовані у прибудинковій зоні. Це можна пояснити тим, що вікна приміщення відкриваються на дорогу, а точка вимірювання прибудинкової зони розміщена далі (порівняно з точкою відбору у приміщенні) від дороги. Дорога в обідній час характеризується високою щільністю транспорту, що і може спричинити зростання вмісту горючих газів у повітрі біля неї. Також важливо звернути увагу і на порівняно високу концентрацію горючих газів у приміщенні о 18:00. В умовах недостатнього провітрювання шкідливі речовини можуть у ньому накопичуватись.

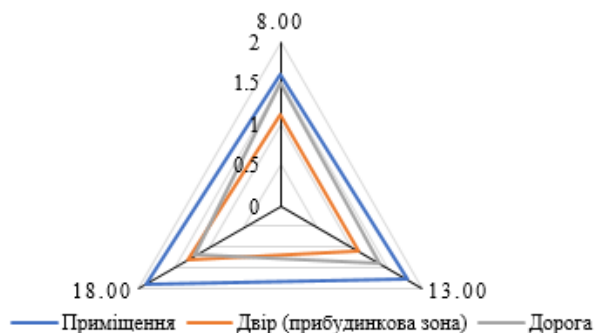


Рис. 5. Усереднені результати по вмісту горючих газів в атмосферному повітрі приміщення, двору та дороги житлової зони B, % LEL

З рисунка 5 видно, що найвищий вміст горючих газів визначений у приміщенні. Порівняно меншою кількістю поллютантів у повітрі характеризується прибудинкова зона. Біля дороги вміст горючих газів о 8:00 та о 13:00 вищий, ніж у прибудинковій зоні.

Порівнюючи рисунки 4 та 5, слід зазначити зависокий вміст горючих газів у обох приміщеннях. Прибудинкова територія житлової зони B характеризується нижчим рівнем вмісту горючих газів, ніж прибудинкова територія зони A. Це пояснюється більшою віддаленістю першої зони від дороги. Також показник LEL біля дороги вищий в районі досліджуваної

території, що розташована ближче до центральної частини міста із торговими центрами та до промислового підприємства.

Вміст оксиду вуглецю, сірководню і аміаку не виявлений у повітрі або перебуває за межами чутливості вимірювальних приладів. Причиною цього може бути ефективна робота очисних систем металургійного заводу, висока ефективність розсіювання шкідливих газів. Крім цього, більшість сполук оксиду вуглецю може окиснюватись до діоксиду вуглецю. Зростання кількості транспортних засобів із впровадженою системою фільтрів для очищення газових викидів двигунів внутрішнього згорання та зростання кількості електромобілів, що не використовують паливо, може сприяти зниженню вмісту оксиду вуглецю у атмосферному повітрі.

Висновки

Дослідження загального рівня забруднення атмосферного повітря в зоні впливу центральної дороги із потужним трафіком руху автотранспорту та промислового об'єкта показало, що повітря не забруднене сірководнем, оксидом вуглецю, аміаком, формальдегідом та має незначний вміст дрібнодисперсного пилу.

В той же час зафіксовано зниження вмісту кисню у повітрі в зоні впливу потужного руху автотранспорту та металургійного заводу. Вміст горючих газів у досліджених приміщеннях у більшості проб вищий, ніж на вулиці.

І все ж житлова зона, розташована ближче до промислового об'єкта та до центральної частини міста із торговими центрами, має порівняно вищі показники LEL. Динаміка зміни забруднення повітря із часом упродовж дня не висока.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ahmad M., Cheng W., Xu Z., Kalam A. Outlier Detection of Air Quality for Two Indian Urban Cities Using Functional Data Analysis. *Open Journal of Air Pollution*. Vol. 12. 2023. Pp. 79–91.
2. Pénard-Morand C., Annesi-Maesano I. Air pollution : from sources of emissions to health effects. *Breathe*. Vol. 1 (2). 2004. Pp. 108–119.
3. Piracha A., Tariq Chaudhary M. Urban Air Pollution, Urban Heat Island and Human Health : a review of the Literature. *Sustainability*. Vol. 14 (15). 2022. URL: <https://doi.org/10.3390/su14159234>

4. Lambey V., Prasad A. D. Sensor based real time air pollutants monitoring for an urban industrial area. *Journal of Air Pollution and Health*. Vol. 8 (2). 2023. Pp. 157–164.
5. Liang L., Gong P. Urban and air pollution : a multi-city study of long-term effects of urban landscape patterns on air quality trends. *Scientific Reports*. Vol. 10. 2020. URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74524-9>
6. Houngbégnon P., Ayivi-Vinz G., Lawin H., Houessionon K., Tanimomon F., Kêdoté M., Fayomi B., Dossougbété S., Agueh V. Exposure to PM_{2.5} Related to Road Traffic : Comparison between Crossroads and Outside of Crossroads at Cotonou, Benin. *Open Journal of Air Pollution*. Vol. 8. 2019. Pp. 108–117.
7. Guan S., Zhang X., Zhao W., Duan Y., Yang S., Yao Y., Jia K. A similarity distance-based space-time random forest model for estimating PM_{2.5} concentrations over China. *Atmospheric Environment*. Vol. 313 (15). 2023. URL: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2023.120043>.
8. Kourtidis K., Kelesis A., Petrakakis M. Hydrogen sulfide (H₂S) in urban ambient air. *Atmospheric Environment*. Vol. 42 (32). 2008. Pp. 7476–7482.
9. Orcellet E. E., Villanova M., Noir J. O., Caire D. M. Atmospheric dispersion of hydrogen sulfide using a modified ARPS model : a case study. *Ecotoxicol. Environ. Contam.* Vol. 17 (1). 2022. Pp. 93–105.
10. Lin S., Liu Z., Qian J., Li X., Zhang Q. Flammability and Explosion Risk of Post-explosion CH₄/air and CH₄/coal dust/air Mixtures. *Combustion Science and Technology*. Vol. 193 (8). 2021. Pp. 1279–1292.

REFERENCES

1. Ahmad M., Cheng W., Xu Z. and Kalam A. Outlier Detection of Air Quality for Two Indian Urban Cities Using Functional Data Analysis. *Open Journal of Air Pollution*. 2023, 12, pp. 79–91.
2. Pénard-Morand C. and Annesi-Maesano I. Air pollution : from sources of emissions to health effects. *Breathe*. 2004, vol. 1 (2), pp. 108–119.
3. Piracha A. and Tariq Chaudhary M. Urban Air Pollution, Urban Heat Island and Human Health : a review of the Literature. *Sustainability*. 2022, vol. 14 (15). URL: <https://doi.org/10.3390/su14159234>.
4. Lambey V. and Prasad A.D. Sensor based real time air pollutants monitoring for an urban industrial area. *Journal of Air Pollution and Health*. 2023, vol. 8 (2), pp. 157–164.
5. Liang L. and Gong P. Urban and air pollution : a multi-city study of long-term effects of urban landscape patterns on air quality trends. *Scientific Reports*. Vol. 10, 2020. URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74524-9>.
6. Houngbégnon P., Ayivi-Vinz G., Lawin H., Houessionon K., Tanimomon F., Kêdoté M., Fayomi B., Dossougbété S. and Agueh V. Exposure to PM_{2.5} Related to Road Traffic : Comparison between Crossroads and Outside of Crossroads at Cotonou, Benin. *Open Journal of Air Pollution*. 2019, vol. 8, pp. 108–117.
7. Guan S., Zhang X., Zhao W., Duan Y., Yang S., Yao Y. and Jia K. A similarity distance-based space-time random forest model for estimating PM_{2.5} concentrations over China. *Atmospheric Environment*. 2023, vol. 313 (15). URL: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2023.120043>.
8. Kourtidis K., Kelesis A. and Petrakakis M. Hydrogen sulfide (H₂S) in urban ambient air. *Atmospheric Environment*. 2008, vol. 42 (32), pp. 7476–7482.
9. Orcellet E.E., Villanova M., Noir J.O. and Caire D.M. Atmospheric dispersion of hydrogen sulfide using a modified ARPS model : a case study. *Ecotoxicol. Environ. Contam.* 2022, vol. 17 (1), pp. 93–105.
10. Lin S., Liu Z., Qian J., Li X. and Zhang Q. Flammability and Explosion Risk of Post-explosion CH₄/air and CH₄/coal dust/air Mixtures. *Combustion Science and Technology*. 2021, vol. 193 (8), pp. 1279–1292.

Надійшла до редакції: 03.11.2023.