

ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ЗА ІНДИКАТИВНИМИ ВИМІРЮВАННЯМИ

Григор'єва Л.І., Алексєєва А.О., Макарова О.В., Буровицька Ю.М., Григор'єв К.В.
Чорноморський національний університет імені Петра Могили
вул. 68 Десантників, 10, 54003, м. Миколаїв
kafecobezpeka@ukr.net, anna.aleksyeyeva@chmnu.edu.ua,
elenamakarova79@ukr.net, kosses.iop@gmail.com

Стаття присвячена питанню вдосконалення екологічного моніторингу атмосферного повітря шляхом розширення фіксованих вимірювань за допомогою індикативних вимірювань показників якості повітря відповідно до положень Директиви 2008/50/ЄС. Представлено результати дослідження стану атмосферного повітря за системою індикативних вимірювань $PM_{2,5}$, PM_{10} , CH_2O та за системою фіксованих вимірювань CO , пиле, CH_2O , HF , NO на чотирьох стаціонарних постах спостережень м. Миколаєва у 2021 р. Робота спрямована на визначення можливості й обґрунтування необхідності запровадження індикативних вимірювань показників якості атмосферного повітря у м. Миколаєві – місті, де у довоєнні часи спостерігали високі рівні забруднення атмосферного повітря через інтенсивні потоки вантажного транспорту. Представлені у роботі результати індикативних вимірювань отримано за допомогою розгорнутою у 2021 р. у м. Миколаєві першою ланки системи індикативних вимірювань на базі універсальних станцій Oxygen Air Fresh Max. Визначено, що у повітряному просторі м. Миколаєва наявне хронічне перевищення гранично-допустимих концентрацій CH_2O , HF . Встановлено, що найбільша кратність перевищення ГДКс.д. (до 10 разів і вище) характерна для формальдегіду. Концентрації пилових частинок $PM_{2,5}$, PM_{10} в атмосферному повітрі відповідали нормам. Визначено, що результати індикативних вимірювань вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі перевищують у 1,5–1,6 рази відповідні величини при фіксованих вимірюваннях, а максимальні значення при фіксованих вимірюваннях перевищують у 1,6–1,8 разів максимальні значення при індикативних вимірюваннях. Цей підтверджує, що при референтному рівні забруднення (наприклад, формальдегідом) екологічний моніторинг атмосферного повітря має бути організований за фіксованими вимірюваннями і доповнений індикативними вимірюваннями за допомогою комплексних компактних станцій, які призначені для здійснення індикативних вимірювань якості повітря. *Ключові слова:* атмосферне повітря, забруднення, екологічний моніторинг, індикативні вимірювання, фіксовані вимірювання, формальдегід, пил.

Environmental monitoring of the atmospheric air by indicative measurements. Grygorieva L., Alekseeva A., Makarova O., Burovytska Yu., Grygoriev K.

The article is devoted to the issue of improving environmental monitoring of atmospheric air by expanding fixed measurements with indicative measurements of air quality indicators in accordance with the provisions of Directive 2008/50/EC. The results of the state of atmospheric air according study to the system of indicative measurements of $PM_{2.5}$, PM_{10} , CH_2O and the system of fixed measurements of CO , dust, CH_2O , HF , NO at four stationary observation posts in Mykolaiv in 2021 are presented. The work is aimed at determining the possibility and justification of the need to introduce indicative measurements of atmospheric air quality indicators in the city of Mykolaiv – a town with high levels of atmospheric air pollution in pre-war times were observed due to intensive flows of freight transport. The results of indicative measurements presented in the work were obtained using the first link of the system of indicative measurements deployed in Mykolaiv in 2021 on the basis of universal Oxygen Air Fresh Max stations. It was determined in the air space of Mykolaiv there is a chronic excess of the maximum allowable concentrations of CH_2O , HF . It was established that the greatest multiplicity of exceeding norms (up to 10 times and higher) is characteristic of formaldehyde. Concentrations of $PM_{2.5}$, PM_{10} dust particles in atmospheric air corresponded to norms. It was determined the results of indicative measurements of the content of formaldehyde in atmospheric air exceed 1.5–1.6 times the corresponding values in fixed measurements, and the maximum values in fixed measurements exceed 1.6–1.8 times the maximum values in indicative measurements. This confirms at a reference level of pollution (for example, formaldehyde), environmental monitoring of atmospheric air should be organized according to fixed measurements and supplemented with indicative measurements using complex compact stations, which are designed to carry out indicative measurements of air quality. *Key words:* atmospheric air, pollution, environmental monitoring, indicative measurements, fixed measurements, formaldehyde, dust.

Постановка проблеми. Чисте та безпечне атмосферне повітря є суспільною цінністю та останнім безкоштовним природним ресурсом, що для більшості населення не має альтернативи споживання. У вересні 2021 р. Всесвітня організація охорони здоров'я ООН оприлюднила нові рекомендації до якості повітря, що надають чіткі докази шкоди, яку забруднене повітря завдає здоров'ю людей, навіть у менших концентраціях, ніж вважалося раніше. За оцінками експертів ВООЗ, щороку забруднення повітря обумовлює до 7 мільйонів передчасних

смертей і призводить до втрати мільйонів здорових років життя.

У рамках імплементації положень Директиви 2008/50/ЄС [2] у національне законодавство України у містах нашої країни законодавчо закріплено запровадження розширення фіксованих вимірювань при екологічному моніторингу атмосферного повітря за допомогою індикативних вимірювань показників якості повітря з врахуванням регіональних проблем територій [4]. Така система екологічного моніторингу атмосферного повітря розгорталася й на

Миколаївщині. Але вона залишила багато питань щодо співставлення результатів вимірювань показників якості атмосферного повітря за фіксованими і за індикативними вимірюваннями показників якості атмосферного повітря.

Тому дослідження ефективності екологічного моніторингу атмосферного повітря через індикативні вимірювання є актуальними. Адже поєднання системи фіксованих і індикативних вимірювань при організації екологічного моніторингу атмосферного повітря на Миколаївщині будуть особливо актуальними у повоєнні часи.

Аналіз літературних даних. На стаціонарних постах спостереження за програмою державного моніторингу якості атмосферного повітря в Україні здійснюються фіксовані вимірювання речовин: суспендовані пилові частинки, SO_2 , NO_x , CO , формальдегід, свинець, бенз(а)пірен. Деякі станції контролюють наявність додаткових забруднюючих речовин залежно від регіональних або місцевих викидів та наявності технічного потенціалу. У країнах ЄС одним з небезпечних видів забруднення атмосферного повітря, що вимагають систематичного контролю, є дрібнодисперсні частинки діаметром менше 10 мкм (PM_{10}) і 2,5 мкм ($\text{PM}_{2,5}$) [1].

В Україні гігієнічне нормування PM_{10} і $\text{PM}_{2,5}$ прийняте у 2014 році (у результаті підписання угоди про асоціацію між Україною та ЄС), в той час як в США та Європейському Союзі таке нормування існує вже багато років і супроводжується великою кількістю спостережень, досліджень, методичних 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 норма-

тивних вимог вмісту PM_{10} і $\text{PM}_{2,5}$, а також загального вмісту завислих речовин (TSP) в повітрі представлено у таблиці 1 [1].

На даний час в Україні робляться лише перші кроки із систематичного моніторингу концентрацій PM_{10} і $\text{PM}_{2,5}$, а також формальдегіду в атмосферному повітрі. З'являються методики і розпочато організацію моніторингу PM_{10} і $\text{PM}_{2,5}$ у великих містах країни [5, 6]. Водночас на сьогодні відсутні затверджені методики розрахунку викидів PM_{10} і $\text{PM}_{2,5}$ для основних видів діяльності, які є причиною значного пилоутворення, в тому числі і для руху транспорту автомобільними дорогами. Щодо викидів формальдегіду у повітря при руху автотранспорту, особливо вантажного, ситуація вкрай гостра у довоєнні часи була у м. Миколаєві [3].

Матеріали експериментальних досліджень. Матеріалами для дослідження виступали:

– результати вимірювання показників якості атмосферного повітря на 4 стаціонарних постах м. Миколаєва, проведених Комплексною лабораторією Миколаївського обласного центру з гідрометеорології та представлених на сайті Миколаївської міської ради [6, 8];

– результати визначення показників якості атмосферного повітря за 6 станціями індикативних вимірювань Oxygen Air Fresh Max в м. Миколаєві («Департамент ЖКГ», «MryDiy 2», «Північний», «Спортивний Дім Sport House», «Solar Service Mykolaiv», «Космонавтів», «Залізнична») та станцією Oxygen ECO-ROZUM, яка встановлена на одному з корпусів ЧНУ імені Петра Могили.

Спостереження, в рамках постійного екологічного моніторингу, здійснювалися за поллютантами: окис вуглецю (CO), пил, формальдегід (CH_2O), фтористий водень (HF), двоокис азоту (NO_2), окис азоту

Таблиця 1

Гранично допустимі концентрації PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ в атмосферному повітрі в Україні, США, ЄС і за рекомендаціями ВООЗ, mg/m^3

Речовина	Час усереднення	Україна	ВООЗ	США	ЄС
Завислі речовини (TSP)	20 хвил.	0,50	–	–	–
	24 год.	0,15	–	0,26	–
	1 рік	–	–	0,075	–
Завислі речовини PM_{10}	20 хвил.	–	–	–	–
	24 год.	–	0,050	0,150 (не повинна бути перевищена більше 1 разу на 3 роки)	0,050 (концентрація не повинна бути перевищена більше 35 разів протягом року)
	1 рік	–	0,020	–	0,040
Завислі речовини $\text{PM}_{2,5}$	20 хвил.	–	–	–	–
	24 год.	–	0,025	0,035 (98% на 3 роки)	–
	1 рік	–	0,010	0,015 (середня на 3 роки)	0,025

(NO), двоокис сірки (SO₂) здійснювалися в 4-х контрольних пунктах спостереження.

Індикативні вимірювання за допомогою універсальної станції моніторингу якості повітря Oxygen здійснювалися у період: липень 2021 р. – січень 2022 р.

Результати експериментальних досліджень.

Аналіз отриманих результатів вмісту поллютантів в атмосферному повітрі м. Миколаєва, за результатами вимірів на 4 стаціонарних постах, свідчив, що вміст пилу, діоксиду азоту не перевищував існуючих граничних норм. Останні досягалися і, навіть, були перевищені, для формальдегіду і для фтористого водню. Так, середньомісячний вміст формальдегіду по місту коливався в межах 0,0085–0,0155 мг/м³ (0,003 ГДКс.д.), концентрація фтористого водню в середньому по місту була рівна 0,0018 мг/м³ (0,005 ГДКс.д.), концентрація діоксиду азоту в середньому по місту дорівнювала 0,037мг/м³ (0,04 ГДКс.д.) та вміст пилу по місту в середньому дорівнював 0,075 мг/м³ (0,09 ГДКс.д.). Індекс забруднення атмосфери у м. Миколаєві за 2021 рік склав 8,44.

Результати індикативних вимірювань вмісту PM_{2,5}, PM₁₀, CH₂O у повітрі за допомогою універсальної станції Oxygen ECO-ROZUM ЧНУ імені Петра Могили за період липень 2021 р. – січень 2022 р. представлено у таблиці 2.

З таблиці видно, що концентрації дрібнодисперсного пилу не перевищували нормативного значення, а за формальдегідом спостерігалися перевищення ГДК_{с.д.} до 7 разів.

Аналіз результатів індикативних вимірювань стану атмосферного повітря у м. Миколаєві за іншими 6 станціями Oxygen Air Fresh Max свідчив, що середньомісячний вміст формальдегіду коливався в межах 8,08–19,20 мкг/м³ (ГДКс.д. – 3 мкг/м³), концентрація PM_{2,5} по місту в середньому дорівнювала 12,66 мкг/м³ (ГДКс.д. – 25,00 мкг/м³) та концентрація PM₁₀ у місті в середньому дорівнювала 22,12 мкг/м³ (ГДКс.д. – 50,00 мкг/м³).

Порівняння результатів всіх спостережень представлено у таблиці 3.

На стовбчикових діаграмах (рис. 1, 2) відображено результати (середні значення та максимальні значення відповідно) фіксованих вимірювань та результатів індикативних вимірювань вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі м. Миколаєва за липень 2021 р. – січень 2022 р.

Як можна бачити з рисунків, за усередненими величинами результати індикативних вимірювань перевищують у 1,5–1,6 рази відповідні величини фіксованих вимірювань, а за максимальними значеннями навпаки: максимальні значення фіксованих вимірювань перевищують в 1,6–1,8 разів максимальні значення, які зафіксовано при індикативних вимірюваннях.

Цей факт ще раз підтверджує, що при референтному рівні забруднення (наприклад, формальдегідом) екологічний моніторинг атмосферного повітря має бути організований не тільки за допомогою організації фіксованих вимірювань, а має бути доповнений індикативними вимірюваннями за допомогою комплексних компактних станцій, які призначені для

Таблиця 2

Середні значення вмісту PM_{2,5}, PM₁₀, CH₂O у повітрі за станцією Oxygen ECO-ROZUM ЧНУ імені Петра Могили за липень 2021 р. – січень 2022 р.

Дата	Середні значення кожні 10 днів, мкг/м ³		
	PM _{2,5}	PM ₁₀	CH ₂ O
01.07–10.07.2021	11,66	25,30	11,94
11.07–20.07.2021	15,42	35,18	32,02
21.07–31.07.2021	8,88	14,26	14,94
01.08–10.08.2021	11,28	23,32	18,60
11.08–20.08.2021	22,23	44,82	11,74
21.08–31.08.2021	8,09	17,72	12,26
01.09–10.09.2021	3,35	11,30	29,88
11.09–20.09.2021	7,70	17,77	19,92
21.09–30.09.2021	9,36	12,87	30,93
01.10–10.10.2021	12,04	25,88	31,96
11.10–20.10.2021	11,58	24,13	31,25
21.10–31.10.2021	16,89	38,92	32,46
01.11–10.11.2021	14,56	34,55	34,13
11.11–20.11.2021	15,58	37,62	33,10
21.11–31.11.2021	19,91	42,21	11,23
01.12–10.12.2021	20,13	27,42	11,14
11.12–20.12.2021	13,97	28,33	11,18
22.12–31.12.2021	4,28	8,52	11,21

Таблиця 3

Порівняння результатів фіксованих вимірювань та результатів індикативних вимірювань вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі м. Миколаєва за липень 2021 р. – січень 2022 р., мг/м³

Місяць спостережень	Фіксовані вимірювання*		Індикативні вимірювання**		Фонові індикативні вимірювання***	
	$\bar{X} \pm \sigma_X$, мг/м ³	max, мг/м ³	$\bar{X} \pm \sigma_X$, мг/м ³	max, мг/м ³	$\bar{X} \pm \sigma_X$, мг/м ³	max, мг/м ³
Липень 2021 р.	0,073±0,007	0,010	0,015±0,004	0,034	0,014±0,010	0,031
Серпень 2021 р.	0,093±0,010	0,014	0,017±0,010	0,030	0,016±0,010	0,019
Вересень 2021 р.	0,008±0,011	0,010	0,015±0,006	0,029	0,014±0,010	0,017
Жовтень 2021 р.	0,005±0,009	0,011	0,015±0,005	0,019	0,015±0,010	0,014
Листопад 2021 р.	0,005±0,007	0,010	0,013±0,003	0,018	0,012±0,004	0,011
Грудень 2021 р.	0,0050±0,008	0,010	0,012±0,006	0,017	0,010±0,006	0,011
Січень 2021 р.	0,0052±0,009	0,010	0,012±0,004	0,015	0,011±0,005	0,011

* – за 4 стаціонарними постами спостережень МОЦ з гідрометеорології

** – за 7 стаціонарними постами спостережень індикативних вимірювань («Департамент ЖКГ», «MryDiy 2», «Північний», «Solar Service Mykolaiv», «Космонавтів», «Залізнична»)

*** – за стаціонарним постом спостережень індикативних вимірювань («EcoRozum»)

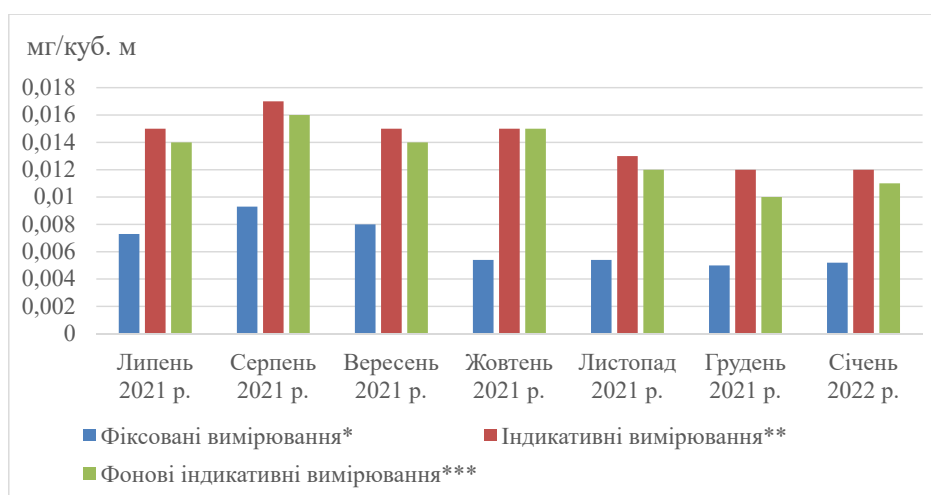


Рис. 1. Середньомісячні значення результатів фіксованих вимірювань та результатів індикативних вимірювань вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі м. Миколаєва за липень 2021 р. – січень 2022 р.



Рис. 2. Максимальні значення результатів фіксованих вимірювань та результатів індикативних вимірювань вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі м. Миколаєва за липень 2021 р. – січень 2022 р.

здійснення індикативних вимірювань якості повітря. Тому у наступному підрозділі нами проаналізовано наявні на ринку станції індикативних вимірювань показників якості атмосферного повітря.

Отримані близькі результати показників якості атмосферного повітря за усіма 7 станціями індикативних вимірювань вказують, що при виборі місця розташування такої станції у місті з великими транспортними потоками для здійснення фонових вимірювань показників якості атмосферного повітря така станція має розташована на великій відстані від дороги.

Висновки

1. Показано, що у м. Миколаєві у довечні часи була розгорнута система індикативних вимірювань, за якою експлуатувалися 7 компактних станцій («EcoRozum», «Департамент ЖКГ», «MiyDiy 2», «Північний», «Solar Service Mykolaiv», «Космонавтів», «Залізнична»), результати вимірювань яких відображувалися у поточному режимі на онлайн-карті <https://eco-city.org.ua/>.

2. Визначено, що у повітряному просторі м. Миколаєва наявне хронічне перевищення гранично-допустимих концентрацій формальдегіду і фтористого водню. Найбільша кратність перевищення ГДКс.д. (до 10 разів і вище) характерна для формальдегіду. Концентрації пилових частинок $PM_{2,5}$, PM_{10} в атмосферному повітрі відповідали нормам.

3. Визначено, що результати індикативних вимірювань вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі перевищують у 1,5–1,6 рази відповідні величини при фіксованих вимірюваннях, а максимальні значення при фіксованих вимірюваннях перевищують в 1,6–1,8 разів максимальні значення при індикативних вимірюваннях. Цей підтверджує, що при референтному рівні забруднення (наприклад, формальдегідом) екологічний моніторинг атмосферного повітря має бути організований за фіксованими вимірюваннями і доповнений індикативними вимірюваннями за допомогою комплексних компактних станцій, які призначені для здійснення індикативних вимірювань якості повітря.

Література

1. Air quality plan for nitrogen dioxide (NO₂) in UK (2017). Department for Environment, Food & Rural Affairs and Department for Transport, 2017 Air Quality Zones, European Commission, 2017.
2. Про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для Європи: Директива Ради 2008/50/ЄС від 21.05.2008. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_950#Text
3. Григор'єва, Л.І., Томілін, Ю.А., Суха, Н.О. Комплексна оцінка забруднення атмосферного повітря в місті Миколаєві. Екологічні науки, 4 2018 (23). С. 19–24.
4. Деякі питання здійснення державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря: Постанова КМУ № 827 від 14.08.2019.
5. Дмитрієва, О. О., Варламов, Є. М., Квасов, В. А., Палагута, О. А., Нестеренко Л. М., Нестеренко У. Ю. Стан мережі спостереження за атмосферним повітрям в Україні та її відповідність вимогам Директиви 2008/50/ЄС. Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки. 2016. № 38. С. 99–110.
6. Моніторинг якості повітря у розумному місті. URL: <https://www.kyivsmartcity.com/news/ecology/>