
ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ

УДК 504.064.3

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.2-35.2>

РОЗРОБКА ПРОЄКТУ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

Бордюг Н.С., Ращенко А.В., Лесь А.В.

Поліський національний університет
бульв. Старий, 7, 10008, м. Житомир

natali-21@ukr.net, a.rashchenko@gmail.com, bambina_nas@yahoo.com

Вагомим чинником у контексті збереження здоров'я населення є постійне спостереження за станом повітря та опрацювання даних у динаміці. Уважаємо, що проблема можливості регулювання кількості викидів забруднювальних речовин в атмосферне повітря безпосередньо залежить від повноти організації системи його моніторингу. Очевидною стає потреба у проведенні постійного моніторингу стану атмосферного повітря у міських населених пунктах, що не реалізується у великій кількості міст різних країн. У роботі спроектовано систему моніторингу атмосферного повітря для міста із населенням 250–500 тис. осіб та оцінено її за еколого-економічною доцільністю впровадження. Запропоновано запровадження автоматизованої системи екологічного моніторингу атмосферного повітря населених пунктів. Систему призначено для безперервного вимірювання концентрацій шкідливих домішок газових компонентів у повітрі та обробки й передання даних до центрального сервера підрозділів екологічної безпеки за GSM зв'язку з подальшим накопиченням і візуалізацією. Вимірювання проводиться вдовж автомагістралей і автомагістральних розв'язок, у житлових і санітарно-захисних зонах населених пунктів. Здійснено еколого-економічну оцінку проекту системи моніторингу атмосферного повітря. Створено проект системи моніторингу атмосферного повітря у містах із населенням 250–500 тис. осіб, що включає 8 постів спостереження та забезпечує отримання постійної достовірної інформації про стан атмосферного повітря у будь-якій частині міста, здійснено економічні розрахунки його вартості. Упровадження розробленої системи моніторингу атмосферного повітря сприятиме своєчасному виявленню вмісту забруднювальних речовин, що перевищують гранично-допустимі концентрації, та запровадженню заходів щодо покращення якості атмосферного повітря на місцевому рівні. *Ключові слова:* моніторинг атмосферного повітря, пост спостереження, забруднювальні речовини, газоаналізатори.

Development of the air monitoring system project. Bordiug N., Rashchenko A., Les A.

An important factor in the context of maintaining public health is the constant air monitoring and the processing of data in the dynamics. We believe that the problem of the possibility of regulating the amount of pollutant emissions into the atmosphere directly depends on the completeness of the monitoring system organization. The need for constant monitoring of the state of atmospheric air in urban settlements, which is not implemented in a large number of cities in different countries, is becoming obvious. The paper deals with air monitoring system design for a city with a population of 250–500 thousand people and environmental and economic evaluation of the feasibility implementation.

The introduction of an automated system of ecological monitoring of atmospheric air of settlements is proposed. The system is designed for continuous measurement of harmful impurities concentrations of gaseous components in the air and processing and transmission of data to the central server of environmental security units via GSM communication with subsequent accumulation and visualization. Measurements are carried out along highways and highway interchanges, in residential and sanitary protection zones of settlements. The ecological and economic assessment of the project of the atmospheric air monitoring system has been carried out. The project of the atmospheric air monitoring system in cities with a population of 250–500 thousand people was created. It includes 8 observation posts and provides constant reliable information about the state of the air in any part of the city. Economic calculations of its value are made. The implementation of the developed air monitoring system will facilitate the timely detection of pollutants exceeding the maximum allowable concentrations and the introduction of measures to improve air quality at the local level. *Key words:* atmospheric air monitoring, observation post, pollutants, gas analyzers.

Постановка проблеми. Останні десятиліття характеризуються інтенсифікацією міграції людей із сільської місцевості в міста і (за даними науковців) така тенденція буде посилюватися. Розвиток міських поселень супроводжується зосередженням численних джерел забруднення атмосферного повітря (промислові об'єкти, автомобільний транспорт, енергетичні установки, котельні тощо) на обмеженій території. Це сприяє зростанню концентрації шкідливих газів, канцерогенних речовин, твердих частинок, алергенів тощо в атмосферному повітрі міста.

Так, стан та якість повітря міських населених пунктів є одним із чинників небезпеки та погіршення якості життя їх мешканців.

Актуальність дослідження. Наявні наукові дослідження впливу якості атмосферного повітря на стан здоров'я населення базуються на аналізі інформації щодо набору та кількості забруднювальних речовин у ньому. За даними ВООЗ (World Health Organization), близько 91% населення світу проживає в місцях із рівнями забруднення атмосферного повітря, що перевищує рекомендації організації [1], адже забруд-

нення повітря газами та твердими частинами здатне викликати численні захворювання людей, найбільш поширеними з яких є хвороби, пов'язані зі станом органів дихальної системи, алергічні реакції, онкологічні захворювання, імунодефіцити тощо. До того ж саме забруднення повітря щороку призводить до 4,2 мільйонів летальних випадків [1], що підтверджує актуальність проблеми якості атмосферного повітря.

Вагомим чинником у контексті збереження здоров'я населення є постійне спостереження за станом повітря та опрацювання даних у динаміці. Уважаємо, що проблема можливості регулювання кількості викидів забруднювальних речовин в атмосферне повітря безпосередньо залежить від повноти організації системи його моніторингу, адже розробити і запровадити ефективні заходи мінімізації забруднення атмосферного повітря без повної інформації щодо поточного його стану та можливості налагодження контролю не є можливим. Очевидною стає потреба у проведенні постійного моніторингу стану атмосферного повітря у міських населених пунктах, що не реалізується у великій кількості міст різних країн.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Упровадження розробленої системи моніторингу атмосферного повітря сприятиме своєчасному виявленню вмісту забруднювальних речовин, що перевищують граничнодопустимі концентрації, та запровадженню заходів щодо покращення якості атмосферного повітря на місцевому рівні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У науковій праці [2] зазначається, що рівень небезпеки повітря більшості міст світу за окремими показниками можна охарактеризувати як підвищений. Крім того, зазначається, що забруднення атмосферного повітря, в більшій ніж у інших компонентів довкілля мірі, має тенденцію до транскордонного перенесення. Дослідження науковців США доводять, що застосування таких методів, як модернізація промислових підприємств та заводів, відмова від дизельних двигунів тощо [3] здатні забезпечити зменшення забруднення атмосферного повітря. Однак вважаємо, що в країнах, де системи моніторингу атмосферного повітря не налагоджені, обґрунтувати доцільність таких проектних рішень досить складно. Пов'язане це з відсутністю можливості порівняння даних передпроектного стану повітря та результатів подальшого його моніторингу.

У країнах із низьким та середнім рівнями доходу системи моніторингу стану атмосферного повітря потребують удосконалення. Так, наприклад, як зазначає автор [4], подібні системи мають цілу низку недоліків: застарілу матеріально-технічну та нормативну бази, недостатню координацію тощо. Зазначається, що країни з низьким та середнім рівнем доходу розробляють та запроваджують системи менеджменту навколишнього середовища та контролю і запобігання забруднення атмосферного пові-

тря. При цьому темпи та ефективність заходів залежать від інтенсивності забруднення [5]. Однак дослідження науковців спрямовані на модернізацію систем моніторингу на рівні держав або міст-мільйонників та не пропонують рішення для населених пунктів із меншою чисельністю жителів.

На рівні муніципалітетів система моніторингу повітря повинна бути комплексною [4], тому може бути забезпеченою навіть за умов децентралізації. У науковій праці [5] доведено, що державні та муніципальні програми, спрямовані на захист атмосферного повітря, забезпечують значні покращення у стані здоров'я населення. При цьому зауважимо, що такі висновки автори дослідження отримали можливість зробити виключно в результаті наявності достатніх емпіричних даних про стан атмосферного повітря. Як уже зазначалось, отримати такі дані досить складно.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. У межах вирішення проблеми планування систем моніторингу стану атмосферного повітря у країнах із низьким та середнім рівнями доходу доцільно виокремити такі ще не вирішені проблеми:

1) системи моніторингу стану атмосферного повітря у великих містах представлені стаціонарними постами, кількість яких не перевищує 3 одиниць на місто. До такої категорії міст (відповідно до державних будівельних норм «Містобудування, планування та забудова міських і сільських поселень» (ДБН 360-92)) належать міста України з чисельністю населення 250–500 тис. осіб [6]. Натомість у дослідженнях стверджується, що мережі постів систем моніторингу в населених пунктах мають бути більш щільними та комплектуватися як стаціонарними, так і мобільними пристроями [7], особливо за умови, якщо в місті присутні автомагістралі з інтенсивним рухом автотранспорту. Так, для обґрунтування кількості стаціонарних та пересувних постів спостереження у населених пунктах із чисельністю жителів 250–500 тис. осіб дослідження доцільно розвинути;

2) при цьому увагою дослідників оминається питання фінансової спроможності окремих муніципалітетів до фінансування таких систем. Науковці акцентують на наявності безпосередньої залежності між вартістю системи та кількістю постів спостереження з датчиками, що використовуються у них, і складністю програмного забезпечення [8]. Все це дозволяє стверджувати, що розташування постів спостереження за станом атмосферного повітря вимагає чіткого планування та ретельного аналізу, що забезпечить повноту отриманих даних.

Отож, є підстави вважати, що ще не достатньо вивченими залишаються питання обґрунтування та теоретичного тестування системи моніторингу атмосферного повітря для міста з населенням до 250–500 тис. осіб. При цьому в дослідженні доцільно врахувати, що вартість такої системи має бути при-

йнятною для муніципалітетів, а система оприлюднення даних – максимально відкритою та простою для користувачів.

Виклад основного матеріалу. Для міст із кількістю населення 250–500 тис. осіб спроектовано типову систему моніторингу атмосферного повітря, яка має три рівні:

1) перший рівень – пункти спостереження за станом атмосферного повітря; складається з одного або декількох стаціонарних постів, компактних станцій спостереження, автотрасових газоаналізаторів, які встановлюються в місцях найбільшого можливого впливу виробничого процесу промислових підприємств, викидів автомобільного транспорту на стан атмосферного повітря населених пунктів. У стаціонарних постах і компактних станціях спостереження розміщуються первинні засоби екологічного моніторингу (газоаналізатори, метеодатчики, обладнання для збору обробки та передачі даних зі спеціалізованим програмним забезпеченням тощо);

2) другий рівень складається з центрального ПК, обладнання для збирання обробки та приймання-передачі даних зі спеціалізованим програмним забезпеченням оператора, який може розташовуватись на значній відстані від первинних пунктів спостереження;

3) третій рівень – ПК користувача із забезпеченням on-line доступу до екологічної інформації.

Для визначення кількості автотрасових газоаналізаторів, яка необхідна для встановлення у місті з населенням 250–500 тис. осіб, попередньо було

визначено концентрацію оксиду вуглецю (II) розрахунковим методом, урахувавши інтенсивність руху транспорту. Аналіз результатів досліджень виявив, що на вулиці з інтенсивністю руху транспорту до 250 од. за годину концентрація оксиду вуглецю (II) становить 10,53–12,07 мг/м³, тоді як на вулиці з інтенсивністю руху транспорту до 400 од. за годину – 24,69–28,38 мг/м³. Отже, під час збільшення автотранспорту на 150 одиниць за годину концентрація оксиду вуглецю (II) зростає вдвічі.

Також визначено, що на вулицях з інтенсивним рухом транспорту концентрація оксиду вуглецю (II) перевищує ГДКм.р. в 4–5 разів саме в години «пік». Протягом доби відмічали перевищення допустимої концентрації оксиду вуглецю (II) в 4 рази о 8.00 та 18.00 год. (19,66 мг/м³ та 20,62 мг/м³ відповідно), а о 13.00 год. – утричі (16,22 мг/м³).

У містах із населенням 250–500 тис. осіб житлові будинки розміщуються біля доріг з інтенсивним рухом транспорту, тому є важливим установа автотрасових газоаналізаторів, що будуть визначати саме рівень забруднення повітря від транспортних засобів.

Ураховуючи отримані результати щодо інтенсивності руху транспорту та вмісту оксиду вуглецю (II) на вулицях міста з населенням 250–500 тис. осіб, виявлено три найбільші дороги, де кількість автотранспорту становить близько 300–400 од. за годину. Проте за наявності достатнього фінансування необхідно розміщувати автотрасові газоаналізатори на дорогах, де інтенсивність руху транспорту становить 200–250 од. за годину.

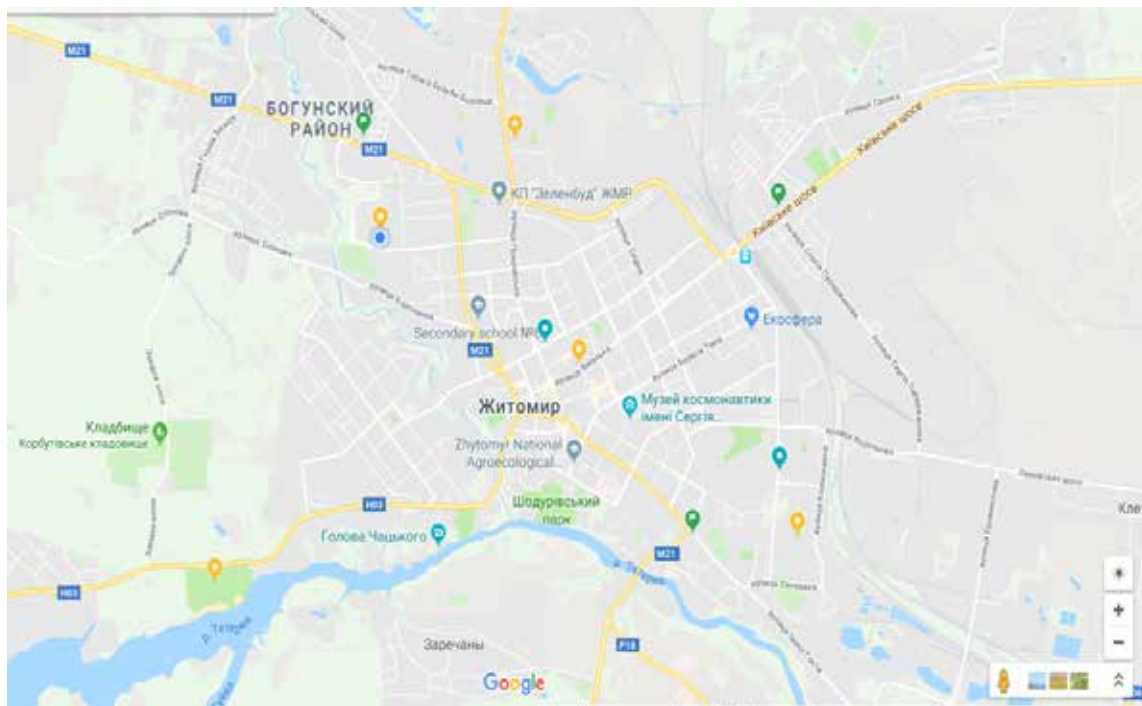


Рис. 1. Розміщення постів спостережень за проектом системи моніторингу атмосферного повітря:

■ – автотрасові; ★ – багатоканальні; ● – стаціонарні

Отже, основу системи моніторингу атмосферного повітря становлять три автотрасових газоаналізаторів, п'ять компактних станцій спостереження, одну метеостанцію для вимірювання метеорологічних параметрів, центральний ПК з обладнанням для збору обробки та приймання-передачі даних зі спеціалізованим програмним забезпеченням.

Для забезпечення постійного й об'єктивного отримання даних щодо концентрації забруднювальних речовин в атмосферному повітрі міст, газоаналізатори доцільно встановлювати так:

– автотрасові газоаналізатори – на ділянках з інтенсивним рухом транспорту;

– багатоканальні газоаналізатори на таких ділянках: у найбільш чистій житловій зоні, найбільш забруднених житлових зонах, у центрі міста та у парковій зоні для здійснення фонових спостережень.

На рис. 1 зображено приклад розміщення постів спостереження. Проект розроблено для міста з населенням 250–500 тис. осіб. Уважаємо, що розміщені за такою схемою пости спостереження забезпечать моніторинг атмосферного повітря всього міста.

Під час розміщення багатоканальних газоаналізаторів на вибраних постах спостереження враховано два стаціонарні пости спостережень, які розміщуються на території міста. Отримані дані будуть доступними для громадськості міста в онлайн-режимі за допомогою апаратно-програмного обладнання центрального пульта зі спеціалізованим програмним забезпеченням. Воно надає можливість зберігання, архівації, обробки результатів вимірів за весь час роботи обладнання.

Це обладнання забезпечує:

– автоматичне або за запитом оператора приймання (за заданим алгоритмом) за каналами мобільного зв'язку – до центрального комп'ютера, результатів вимірювання всіх концентрацій забруднювальних речовин і метеопараметрів;

– формування і зберігання архіву даних протягом не менше 20 років;

– усереднення результатів вимірів концентрацій за 1 годину, 8 годин (або інший інтервал, погоджений із Замовником). Усередненні результатів вимірів за 20 хвилин (72 точки на добу) зберігаються в кожному газоаналізаторі протягом не менше 14 діб;

– отримання результатів на екрані ПК у вигляді графіка, таблиці, цифрового табло за погодженням із Замовником, з можливістю подальшої модифікації програми представлення інформації залежно від накопичення вимірювальної інформації;

– індикацію на екрані результатів вимірювань вмісту забруднювальних речовин в одиницях: масової концентрації (мг/м³);

– розрахунок середньодобових, максимальних середніх за одну годину, за 8 годин, середньорічних значень вимірюваних концентрацій, перевищень над ГДК з повідомленням на моніторі ПК.

У табл. 1 наведено перелік робіт, обладнання, ціну і кількість одиниць обладнання. Вартість обладнання та робіт розраховано у доларах США.

Запропонований проект системи моніторингу атмосферного повітря у містах із населенням 250–500 тис. осіб вимагає значних фінансових затрат. Ураховуючи те, що бюджети невеликих міст

Таблиця 1

Вартість системи моніторингу атмосферного повітря

№ з/п	Перелік робіт та найменування обладнання	Кількість	Ціна за одиницю, \$	Вартість, \$
1	Виготовлення та постачання автотрасових газоаналізаторів 604EX20-T із вбудованим GSM-модемом і програмним забезпеченням	3 компл.	9408	28224
2	Виготовлення та постачання компактної станції спостереження на базі багатоконпонентного газоаналізатора 604EX20-C	5 компл.	10752	53760
3	Постачання метеостанції Тропосфера-Н із програмним забезпеченням (1 комплект)	1 компл.	7920	7920
4	Розробка спеціалізованого програмного забезпечення (ПЗ) для збору контрольної-вимірювальної інформації від пунктів спостереження та формування архіву даних на базі операційної системи (ОС) Linux	ПЗ встановлене на центральний ПК	11280	11280
5	Постачання апаратно-програмного обладнання для центрального пульта, в т. ч.: ПК в комплекті (клавіатура, миша) з ОС Linux, монітор 22,5", GSM- модем з антеною і блоком живлення 12В, принтер лазерний кольоровий.	1 компл.	1440	1440
6	Проведення монтажних, пусконаладжувальних робіт, введення в експлуатацію системи, навчання фахівців	–	–	3264
Всього:				105888

та населених пунктів є досить обмеженими, для громади міста надати такі кошти одразу складно. Отож, уважаємо, що цю систему можна запускати поступово у такі стадії. Перша стадія передбачає встановлення метеостанції з програмним забезпеченням, завдяки якій можна буде спостерігати за зміною погоди. Вартість цього етапу робіт становитиме близько 20 000 \$. Друга стадія включає встановлення автотрасових газоаналізаторів, які дозволять вимірювати викиди від автомобільного транспорту міста, кількість якого з роками зростає. На цю частину проекту витратиться 30 000 \$. Остання стадія передбачає встановлення багатоканальних газоаналізаторів у кількості від 1 до 5 у вибраних точках міста. Ця частина проекту потребуватиме фінансування у розмірі від 11 000 до 54 000 \$.

Складність системи (навіть за умови максимальної її адаптації під потреби міст із населенням 250–500 тис. осіб) та обмежені можливості реалізації екологічних проєктів у середніх за розміром населених пунктах зумовлюють потребу в пошуку додаткових джерел фінансування. Такі джерела можливо розподілити на три групи: внутрішні міські програми, державні програми фінансування та зовнішні донорські програми. Кожен із названих напрямів дає можливість реалізувати проєкт моніторингу атмосферного повітря за умови колаборації між міською владою, громадськими організаціями та громадою міста.

Головні висновки. У роботі спроектовано та економічно обґрунтовано проєкт системи моніторингу атмосферного повітря для міст:

1. Розроблено проєкт автоматизованої системи екологічного моніторингу атмосферного повітря населених пунктів із кількістю жителів 250–500 тис. осіб, яка має три рівні: пункт спостережень, центральний пульти, персональний комп'ютер.

2. Установлено, що вартість автоматизованої системи, яка містить 3 автотрасових, 5 багатоканальних газоаналізаторів, 1 метеостанції, становить 106 тис. \$.

3. Розроблено типову мережу постів спостережень, яка охоплює всю територію населеного пункту (як умовно чисту зону, так і найбільш забруднені житлові масиви, що перебувають у промисловій зоні).

4. Доведено, що впровадження розробленої системи моніторингу атмосферного повітря у містах із населенням 250–500 тис. осіб сприятиме своєчасному виявленню вмісту забруднювальних речовин, що перевищують граничнодопустимі концентрації, та запровадження заходів щодо покращення якості атмосферного повітря на місцевому рівні.

Перспективи використання результатів дослідження. Подальші дослідження будуть зосереджені на створенні системи моніторингу атмосферного повітря для міст із населенням понад 500 тис. населення та для створення інформаційної бази моніторингових даних щодо якості атмосферного повітря у населених пунктах.

Література

1. Air pollution [accessed 2020 Feb 05]. Available from: https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_2.
2. Cohen, A.J.; Brauer, M.; Burnett, R.; Anderson, H.R.; Frostad, J.; Estep, K.; Balakrishnan, K.; Brunekreef, B.; Dandona, L.; Dandona, R. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: An analysis of data from the global burden of diseases study 2015. *Lancet* 2017, 389, 1907–1918. doi: 10.1016/S0140-6736(17)30505-6.
3. Kuklinska, K.; Wolska, L.; Namiesnik, J. Air quality policy in the U.S. And the eu-A review. *Atmos. Pollut. Res.* 2015, 6, 129–137 doi: 10.5094/APR.2015.015.
4. Wang, Y.; Ying, Q.; Hu, J.; Zhang, H. Spatial and temporal variations of six criteria air pollutants in 31 provincial capital cities in China during 2013–2014. *Environ. Int.* 2014, 73, 413–422. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.08.016>.
5. Yang, X., Jiang, L., Zhao, W., Xiong, Q. Comparison of Ground-Based PM 2.5 and PM 10 Concentrations in China, India, and the U.S. *International Journal of Environmental Research and Public Health.* 2018, 15(7). doi: 10.3390/ijerph15071382.
6. Державні будівельні норми «Містобудування, планування та забудова міських і сільських поселень» (ДБН 360-92) [accessed 2020 Jun 22]. Available from: <http://interiorfor.com/wp-content/uploads/2016/12/DBN-360-92.pdf>.
7. Wesseling, J., de Ruiter, H., Blokhuis, C., Drukker, D., Weijers, E., Volten, H., Vonk, J., Gast, L., Voogt, M., Zandveld, P., van Ratingen, S., Tielemans, E. Development and Implementation of a Platform for Public Information on Air Quality, Sensor Measurements, and Citizen Science Atmosphere. 2019, 10(8), 445. <https://doi.org/10.3390/atmos10080445>.
8. Bordogna, G. Geoinformatics in Citizen Science *ISPRS International Journal of Geo-Information.* 2018, 7(12), 474. <https://doi.org/10.3390/ijgi7120474>.