

О.О. Попов, Київ

А.В. Яцишин, Київ

В.О. Ковач, Київ

В.О. Артемчук, Київ

В.О. Куценко, Київ

АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ПОБУДОВИ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ МЕРЕЖ МОНІТОРИНГУ СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

Abstract. The analysis of the current state and prospects of the existing system of the atmospheric air monitoring development in Ukraine is carried out. The main tasks that the authors are working on in the framework of the grant for young scientists of NAS of Ukraine in 2019 on the topic "Mathematical and software tools for optimization of the network of posts for observation of atmospheric air pollution in the technogenically loaded territories of Ukraine" are outlined. This paper presents the results of solving the first task of the project, namely, a critical analysis of existing approaches to the design of new and optimization of existing networks for monitoring the state of the atmospheric air. The advantages and disadvantages of each approach are described. Prospects for using the project results were noted.

Вступ

В Україні проблема забруднення атмосферного повітря є дуже гострою. Однак система моніторингу атмосферного повітря України, яка була створена для спостереження за станом атмосферного повітря і підтримки прийняття управлінських рішень щодо забезпечення екологічної безпеки та мінімально можливого ризику для здоров'я населення урбанізованих територій, нажаль на сьогоднішній день за структурою, рівнем організації, можливостями вимірювання якісних та кількісних параметрів стану навколишнього середовища, способом передачі та агрегації даних не відповідає завданням, що поставлені перед нею, і сучасним вимогам. Так, мережа постів спостереження за забрудненням була побудована ще в 1970-х роках відповідно до стандартів колишнього СРСР. Схеми розміщення станцій (постів) моніторингу та їх кількість, методи пробовідбору та аналізу реалізовано згідно із застарілим положенням «РД 52.04.186–89 Руководство по контролю загрязнения атмосферы», яке було прийняте в колишньому СРСР у 1989 р. і яким керуються донині. З того часу роботи з перегляду ефективності даної мережі не виконувались. Але за цей період відбулось багато змін в економіці, промисловості, транспортній інфраструктурі, кліматичних умовах, які спричинили кардинальний перерозподіл техногенного навантаження на атмосферне повітря території України. Тому існуюча мережа постів спостереження за забрудненням атмосферного повітря України на сьогоднішній день вже не є оптимальною, що не дає можливості бачити реальну картину забруднення, а це, в свою чергу, не дає можливості

64 © О.О. Попов, А.В. Яцишин, В.О. Ковач, В.О. Артемчук, В.О. Куценко

приймати ефективні рішення щодо управління станом атмосферного повітря та ризиком для здоров'я населення на урбанізованих територіях. Такий стан не відповідає загальноєвропейським вимогам, які Україна зобов'язалась виконувати згідно Угоди про партнерство і співпрацю між Євросоюзом, державами-членами і Україною. Шляхи вирішення даної проблеми відзначено у прийнятих Постанові Кабінету Міністрів України «Про затвердження Державної цільової екологічної програми проведення моніторингу навколишнього природного середовища» та Законі України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року», де зазначається, що однією з пріоритетних задач розвитку Державної системи моніторингу довкілля є теоретичне обґрунтування та підготовка пропозицій щодо оптимізованих схем побудови і функціонування мереж спостережень згідно європейських вимог та стандартів [1, 13].

Автори статті є висококваліфікованими молодими вченими, які працюють над вирішенням актуальних проблем екологічної безпеки атмосферного повітря України з 2007 р. В результаті перемоги у конкурсі проектів науково-дослідних робіт молодих учених НАН України у 2019 р. автори отримали фінансування на виконання проекту на тему «Математичні та програмні засоби оптимізації мережі постів спостереження за забрудненням атмосферного повітря на техногенно-навантажених територіях України». В рамках описаної вище проблематики даний проект є актуальним, важливим та своєчасним для підвищення екологічної безпеки держави. Він повністю відповідає пріоритетному тематичному напрямку наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2020 року (перелік затверджено Постановою КМУ від 7 вересня 2011 р. № 942, ред. від 06.09.2016), а саме «Рациональне природокористування».

Постановка задачі

Основними завданнями проекту є: 1) огляд, узагальнення та систематизація існуючих підходів, методів та моделей для забезпечення побудови сучасних мереж моніторингу стану атмосферного повітря; 2) побудова ряду оптимізаційних задач для проектування сучасних, зокрема сенсорних, мереж моніторингу стану атмосферного повітря; 3) розробка математичної моделі забруднення атмосферного повітря за довготривалий період викидів (змінні метеоумови); 4) дослідження та розробка алгоритмів розв'язання отриманих оптимізаційних задач; 5) побудова ряду структурних та інформаційних моделей і створення на їх основі відповідних комп'ютерних засобів забезпечення побудови сучасних мереж моніторингу стану атмосферного повітря; тестування розроблених засобів на прикладі м. Києва.

В даній статті представлено результати вирішення першого завдання проекту.

Матеріали дослідження

На сьогоднішній день існують різні підходи до проектування нових та оптимізації існуючих мереж моніторингу стану атмосферного повітря, кожен з яких має свої переваги і недоліки. Нормативні документи, наприклад «РД 52.04.186–89 Руководство по контролю загрязнения атмосферы», носять зазвичай рекомендаційний характер щодо питань вибору кількості контрольно-вимірвальних станцій та місць їх розташування, але критерії для визначення раціонального розташування станцій при цьому не наводяться.

Економічний підхід є найбільш адекватним, але точне визначення збитку за відсутності або наявності поста спостереження є досить важкою задачею через велике число впливаючих факторів [4, 16].

Використання "метеорологічного" підходу при оптимізації мережі постів спостереження істотно обмежується неоднорідністю і анізотропією полів концентрацій забруднюючих речовин. Він також є дорогим, оскільки вимагає досить великого об'єму заздалегідь накопиченої інструментальними методами початкової інформації [3, 15].

Найперспективнішими, принаймні в даний час, представляються методики, що використовують різні показники, що характеризують збиток (можливий або запобіжний) як критерій оптимізації. З урахуванням задач, що стоять перед мережею моніторингу, соціально-економічні показники, зокрема, збиток, виражений або в явній, або у відносній формі, є найбільш інформативними величинами, які необхідно використовувати при розробці і оптимізації мережі [5 – 7].

Існуючі підходи до оптимізації мережі постів моніторингу забруднення атмосфери, визначаючи одну єдину оптимальну конфігурацію, не передбачають можливості для оцінки ефективності цієї мережі при зміні різних факторів, що впливають на вибір такої конфігурації. Мінливість же цих чинників, особливо метеорологічних, накладає істотну невизначеність на ухвалюване рішення щодо розміщення постів мережі. Тому можливість для порівняльної оцінки ефективності мережі при зміні впливаючих на її конфігурацію чинників має велике значення і повинна бути реалізована при розробці методики оптимального розміщення мережі моніторингу стану атмосферного повітря [8, 12, 14].

Представлені підходи не піднімають питань побудови мереж моніторингу з використанням маршрутних спостережень, оптимізації розміщення точок зупинки маршрутних постів і створення мереж гнучкої конфігурації, що також має велике практичне значення.

Необхідно відзначити, що багато з представлених підходів, вирішуючи задачу розміщення постів, використовують різні методи визначення полів концентрацій забруднюючих речовин. Всі підходи, у тому числі і "метеорологічний", використовуючи інструментальні методи визначення концентрацій забруднюючих речовин, жодним чином не можуть врахувати перспективу розвитку тих регіонів, в яких вони використовуються [9 – 11].

Найменш витратними можна визнати підходи, що використовують розрахункові методи для визначення полів концентрацій забруднюючих речовин. Вони також дозволяють враховувати перспективу розвитку регіонів і достатньо широко використовуються при вирішенні задачі розміщення мережі моніторингу забруднення атмосфери.

Один з найбільш цікавих підходів до оптимізації розміщення постів мережі представлений в роботах Верлана В.А. Він базується на припущеннях з теорії ігор, де стратегіями гравця є різні варіанти розстановки постів мережі моніторингу, які характеризуються як конфігурацією, так і кількістю постів. В грі приймає участь "природа", яка визначає синоптичні і метеорологічні параметри навколишнього середовища [2].

Аналіз різних підходів для визначення просторової конфігурації мережі моніторингу стану атмосферного повітря дозволив визначити їх основні недоліки (див. табл. 1), що практично унеможливають їх застосування в сьогоденній Україні.

Таблиця 1

Характеристики підходів до формування мережі моніторингу стану атмосферного повітря

| Підхід Характеристика | Економічний підхід | Ймовірностатистичний („метеорологічний”) підхід | Ряд інших підходів | Підхід Верлана В.А. |
|--|--------------------|---|--------------------|---------------------|
| Можливість задання пріоритетів | — | — | — | — |
| Врахування метеопараметрів | + | — | *** | *** |
| Врахування пріоритетності та населеності територій | + | — | + | + |
| Врахування багатьох забруднюючих речовин | + | *** | + | + |
| Врахування структури розташування джерел забруднення | + | — | + | + |
| Врахування типу постів спостереження за забрудненням | — | — | — | *** |
| Можливість використання різних моделей забруднення | + | *** | *** | + |
| Комп’ютерна реалізація | —* | —* | —* | — |

* – в доступних літературних джерелах та мережі Internet інформація відсутня

** – частково

Отже, актуальним та важливим напрямком дослідження є математична постановка задачі оптимального розміщення пунктів спостережень мережі моніторингу стану атмосферного повітря, розробка, дослідження та

реалізація нових математичних та комп'ютерних засобів для її вирішення, на що і направлений проект авторів.

Перспективи використання результатів проекту

На основі математичних та програмних засобів, що будуть розроблені авторами в результаті виконання проекту, можна буде оптимізувати існуючі та проектувати нові сучасні мережі моніторингу стану атмосферного повітря, що дозволить зменшити витрати на комплексний аналіз екологічного стану міста або регіону, підвищити ефективність роботи системи моніторингу України в цілому, що в свою чергу дозволить формувати обґрунтовані управлінські рішення щодо зменшення техногенного впливу потенційно-небезпечних об'єктів на довкілля. Використання розроблених засобів сприятиме гармонізації існуючої мережі спостережень за якістю атмосферного повітря з вимогами Директив ЄС, підвищить обґрунтованість прийняття управлінських рішень стосовно поліпшення якості атмосферного повітря, що в кінцевому підсумку приведе до економії коштів держави та підприємств.

Оптимізація системи моніторингу атмосферного повітря згідно європейських вимог та стандартів дозволить підприємствам підвищити ефективність природоохоронної діяльності та дозволить в подальшому запобігти відповідним приписам екологічних інспекцій, які тягнуть за собою значні фінансові затрати. Також це дозволить підприємствам уникнути накладання на них екологічними наглядовими органами несправедливих штрафів через забруднення атмосферного повітря іншими підприємствами регіону, які знаходяться поблизу підприємства. Таким чином, оптимізована система моніторингу дасть можливість підприємствам України заощадити свої фінансові ресурси, які в подальшому можна буде використати на інші потреби.

З іншої сторони, оптимізована мережа контролю стану атмосферного повітря дозволить місцевим екологічним інспекціям Міністерства екології та природних ресурсів України, структурним органам місцевого рівня Державного комітету України з гідрометеорології, Державній службі України з питань безпечності харчових продуктів та захисту споживачів визначати найбільш забруднені території та розробляти відповідні заходи щодо зменшення ризику для здоров'я населення, що там проживає. Також використання повних даних вимірювання концентрації забруднюючих речовин дозволить розв'язувати обернені задачі щодо визначення потужності викидів кожного техногенного об'єкту, що функціонує на підконтрольній території. На основі цього контролюючі органи зможуть здійснювати перевірку достовірності наданої підприємством інформації щодо рівнів викидів, та на основі цього приймати відповідні рішення: або давати дозвіл на подальші викиди, або накласти відповідні штрафи за перевищення

відповідних лімітів чи за несанкціоновані викиди. Для підприємств, що проектуються, екологічні інспекції та санепідемстанції зможуть більш точно визначати ліміти на викиди з врахуванням вже існуючого техногенного навантаження на даній території.

Зазначені на сайті Міністерства екології та природних ресурсів України наведено перелік програмних продуктів в галузі охорони атмосферного повітря мають ряд недоліків та обмежень, а закордонні аналоги, які теоретично можна було б використати в даному випадку, мають власну високу вартість, при цьому для їх використання ще й необхідно придбати інше спеціалізоване програмне забезпечення (ArcGis, Surfer, MapInfo та ін.), вартість якого теж є висока (наприклад, за даними сайту softlist.com.ua станом на середину лютого 2019 р. ліцензія ArcGIS Desktop Standard для одного користувача коштує 273 тис. грн.). Тому, розробка і впровадження запропонованого авторами програмного забезпечення є економічно вигідним та доцільним як для підприємств, так і для контролюючих органів України.

В наступних статтях будуть представлені результати вирішення інших завдань вищезазначеного проекту щодо розробки математичних та програмних засобів оптимізації мережі постів спостереження за забрудненням атмосферного повітря на урбанізованих територіях України для підвищення ефективності Державної системи моніторингу довкілля згідно європейських вимог та стандартів.

Висновки

3. Проведено порівняльний аналіз різних підходів щодо визначення просторової конфігурації мережі моніторингу стану атмосферного повітря та визначено їх основні недоліки, які практично унеможливають їх застосування в сьогоденній Україні.

4. Актуальним напрямком дослідження є математична постановка задачі оптимального розміщення пунктів спостережень мережі моніторингу стану атмосферного повітря, розробка, дослідження та реалізація математичних та комп'ютерних засобів для її вирішення.

Публікація містить результати досліджень, які виконуються в рамках виконання гранту НАН України для молодих вчених у 2019 р. (договір № 67-07/06-2019).

1. *Попов О.О.* Кількісний аналіз стану довкілля на техногенно забруднених територіях / *О.О. Попов, А.В. Яцишин, В.О. Артемчук //* Моделювання та інформаційні технології. Зб. наук. пр. ІПМЕ ім Г.Є. Пухова НАН України. – Вип. 73. – К.: 2014. – С.3-16

2. *Верлан В.А.* Оптимизация размещения сети постов мониторинга за загрязнением

атмосферы в промышленном городе [Текст] : дис. ... канд. геогр. наук / В.А. Верлан. – Одеса, 1999. – 167 с.

3. *Гандин Л.С.* О принципах рационального размещения сети станций / Л.С. Гандин // Труды ГГО. – 1961. – Вып. 111. – С.81-98.

4. *Гандин Л.С.* Об экономическом подходе к планированию сети метеорологических станций / Л.С. Гандин, Р.Л. Каган // Труды ГГО. – 1967. – Вып. 208. – С.120-131.

5. *Гладских А.И.* Метод оптимального размещения сети контрольно-замерных станций при контроле загрязнения воздуха промышленного города / А.И. Гладских, Ю.В. Козлов, В.С. Комаров, М.И. Горбунова // Проблемы контроля и защита атмосферы от загрязнения. – 1981. – Вып. 7. – С.16-24.

6. *Горошко Б.Б.* К вопросу о выборе количества пунктов отбора проб и частоте наблюдений за загрязнением атмосферы / Б.Б. Горошко // Труды ГГО. – 1971. – Вып. 254. – С.45-49.

7. *Дроздов О.А.* Метод построения сети метеорологических станций в равнинной местности / О.А. Дроздов // Труды ГГО. – 1936. – Вып. 12. – С.10-72.

8. *Дугинов Г.В.* Анализ и оценка информативности систем контроля загрязнения атмосферы / Г.В. Дугинов, Е.А. Бирман // Проблемы контроля и защиты атмосферы от загрязнения. – 1983. – Вып. 9. – С.14-15.

9. *Лоева И.Д.* Рациональное размещение сети постов мониторинга за загрязнением атмосферы в промышленном городе / И.Д. Лоева, А.А. Гуревич, В.А. Верлан // Метеорология, климатология и гидрология. – 1999. – Вып. 36. – С.283-287.

10. *Львов Ю.В.* О выборе критерия размещения станций контроля загрязнения атмосферы / Ю.В. Львов, Г.А. Горская // Труды ГГО. – 1984. – Вып. 477. – С.47-53.

11. *Мбанжубухоро Э.* Оптимальное размещение сети станций контроля загрязнения атмосферы в поле многих источников / Э. Мбанжубухоро // Метеорологические прогнозы. Сборник научных трудов. – 1992. – Вып.114. – С.154-165.

12. *Попов О.О.* Стохастична модель забруднення приземної атмосфери від підприємств паливної енергетики (на прикладі ТЕЦ) / О.О. Попов // Збірник наукових праць ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України. – 2009. – Вип. 53. – С.10-21.

13. *Попов О.О.* Математичне моделювання розповсюдження техногенного забруднення від підприємств паливної енергетики / О.О. Попов // Збірник наукових праць ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України. – 2009. – Вип. 51. – С.73-84.

14. *Примак А.В.* Организация автоматизированных систем сбора и обработки данных о загрязнении атмосферного воздуха / А.В. Примак. – К. : Наукова думка, 1979. – 28 с.

15. *Iatsyshyn A.V.* The methodology of future specialists teaching in ecology using methods and means of environmental monitoring of the atmosphere's surface layer / A.V. Iatsyshyn, O.O. Popov, V.O. Kovach, V.O. Artemchuk // Information Technologies and Learning Tools. – 2018. – Iss. 66 (4). – P.217-230.

16. *Ясенский А.Н.* Оптимизация пространственной структуры сети наблюдения при контроле загрязнения атмосферы города / А.Н. Ясенский, В.К. Боброва, А.Д. Зив, В.И. Красов // Труды ГГО. – 1987. – Вып. 492. – С.13-23.

<http://doi.org/10.5281/zenodo.3610650>

Поступила 29.08.2019р.