

В. Б. Мокін
 Є. М. Крижановський
 А. Р. Яцолт
 Д. О. Шмундяк
 Б. В. Паєвський

ОПТИМІЗАЦІЯ МОНІТОРИНГОВОЇ МЕРЕЖІ СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ВІННИЦЬКОЇ ЗОНИ ЗА ДАНИМИ 2016-2020 РР.

Анотація

Запропоновано новий метод щодо визначення пріоритетності місць розташування пунктів спостереження за станом атмосферного повітрявикористанням кососиметричної матриці парних порівнянь Сааті. Наведено приклад його успішного випробування на прикладі Вінницької зони за даними 2016-2020 рр.

Ключові слова: інформаційна технологія, система підтримки прийняття рішень, метод аналізу ієрархій, моніторинг атмосферного повітря, системний аналіз.

Abstract

A new approach to prioritizing the locations of atmospheric air monitoring points using the obliquely symmetric matrix of Saati pairwise comparisons is proposed. An example of its successful testing on the example of the Vinnytsia zone according to 2016-2020 is given.

Keywords: information technology, decision support system, method of analysis of hierarchies, atmospheric air monitoring, system analysis.

Вступ

В Україні протягом останніх років активно впроваджується директива ЄС “Про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для Європи” [1], основне спрямування якої направлено на зменшення забруднення атмосферного повітря до такого рівня, що не буде шкідливого впливу на здоров’я людини. У зв’язку із цими задачами оптимізується система державного моніторингу атмосферного повітря. Існує чимало інструкцій, директив та рекомендацій щодо того які фактори слід враховувати та яких обмежень варто дотримуватись під час вибору місць для розташування пунктів спостережень. У той же час, конкретної та чіткої методики чи технології як саме це слід робити немає. Отже, метою дослідження є розроблення технології оптимізацію моніторингової мережі стану атмосферного повітря та її випробування на прикладі Вінницької зони за даними 2016-2020 рр.

Вибір та структурування критеріїв для пріоритетного вибору місць розташування пунктів мережі спостереження за якістю атмосферного повітря регіону

Ключовим елементом технології, яка пропонується, є підхід щодо оптимізації моніторингової мережі стану атмосферного повітря регіону на основі даних, які збираються згідно наказу Міндовкілля України [2], з використання відомого методу аналізу ієрархій [3]. Його використання передбачає синтез системи підтримки прийняття рішень (СППР) з використанням кососиметричної матриці парних порівнянь Сааті [3-5]. Для її максимального рангу вона буде мати вигляд:

$$C = [c_{ij}]; i = 1, 2, \dots, 9; j = 1, 2, \dots, 9,$$

$$c_{ji} = \frac{1}{c_{ij}}$$

де c_{ij} — ступені переваги факторів, які встановлюються експертом при парному порівнянні цих факторів між собою від $c_{ij} = 1$ (перевага фактору i над фактором j відсутня) до $c_{ij} = 9$ (перевага абсолютна).

Для кожної побудованої матриці C необхідно знайти максимальне дійсне число λ_{max} та власні ве-

ктори w^j , де $j = 0 \dots n$ для знайденого власного числа. Для отриманих максимальних дійсних чисел $\lambda_{max}^0, \lambda_{max}^1, \dots, \lambda_{max}^n$ та відповідних власних векторів w^j можна записати систему матричних рівнянь [3-5]

$$[C^{(j)} - \lambda_{max}^{(j)} I] [w^{(j)}] = 0, \text{ де } j = 1 \dots n.$$

Необхідно розв'язати отриману систему рівнянь, замінюючи при цьому одне з рівнянь (наприклад, останнє) наступним рівнянням [3-5]

$$w_1^j + w_2^j + \dots + w_n^j = 1$$

Розв'язавши систему рівнянь, ми отримуємо ваги критеріїв $w_i^{(j)}$, де $j = 1 \dots n$ та можемо використати їх для обчислення значень інтегральних факторів та кожного базового фактору за допомогою наступних формул [3-5]:

$$K_j = w_j^{(0)} K_{nn}^*, \text{ де } j = 1 \dots n,$$

$$K_{ji} = w_j^{(0)} w_i^{(j)} K_{nn}^*, \text{ де } j = 1 \dots n, i = 1 \dots n.$$

Алгоритм застосування методу аналізу ієрархій до запропонованих критеріїв

Для проведення аналізу пріоритетності розміщення пунктів спостереження за допомогою методу ієрархій необхідно для обраних експертами критеріїв розрахувати ваги, які будуть використовуватися в подальших обчисленнях. Після цього проводиться збір необхідних даних (див. наказ [2]), по кожному критерію визначається декілька оптимальних місць та формується єдиний список усіх визначених місць. Тепер, використовуючи прораховані раніше ваги критеріїв, проводиться розрахунок для кожного місця та їх ранжування по відповідному показнику. Крім того, можна додати отримані ранги по усіх показниках і, таким чином, визначити оптимальні місця відразу за декількома показниками. Проте, дану операцію проводити не обов'язково, адже не завжди доцільно вимірювати різні показники в одному місці.

Графічно даний алгоритм можна зобразити блок-схемою, наведеною на рис. 2.

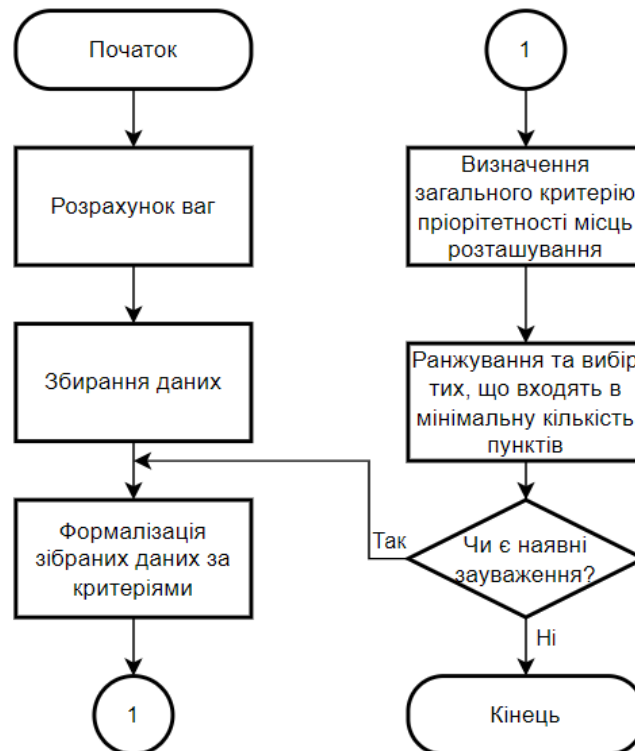


Рис. 2. Блок-схема алгоритму застосування методу аналізу ієрархій для оптимізація моніторингової мережі стану атмосферного повітря

Оптимізація моніторингової мережі стану атмосферного повітря Вінницької зони за даними 2016-2020 рр.

Використовуючи описаний вище алгоритм (див. рис. 2) застосування методу аналізу ієрархій та зібрану публічну інформацію було проведено оптимізацію моніторингової мережі стану атмосферного повітря Вінницької зони за даними 2016-2020 рр. Експертами було обрано 25 критеріїв та згруповано їх у 5 інтегральних критеріїв:

- близькість до найбільш впливових джерел забруднення атмосферного повітря;
- частота та рівень перевищень усереднених та максимальних разових показників стану атмосферного повітря та атмосферних опадів;
- близькість населення (у т.ч. вразливого), інвестиційних об'єктів тощо;
- рівень репрезентативності запроваджених керівних заходів;
- зручність інфраструктури, умов для обслуговування пунктів спостережень, цінність для рівномірного охоплення регіону, що спростить побудову карт забруднення в майбутньому та ін.

Для кожної 5 інтегральних критеріїв та їх 25-и підкритеріїв було визначено експертні оцінки. Приклад оцінок для першої інтегральної оцінки наведено на рисунку 3.

Інтегральні критерії	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4	Ф5
Ф1	1	2	5	6	6
Ф2	1/2	1	3	4	4
Ф3	1/5	1/3	1	4	2
Ф4	1/6	1/4	1/4	1	2
Ф5	1/6	1/4	1/2	1/2	1

Рис. 3. Оцінки інтегральних критеріїв

Використовуючи математичні формули, описані раніше, було обраховано ваги для усіх критеріїв. Результат обчислення наведено на рисунку 4.

Інтегральні критерії	Ваги	Критерії	Ваги	Критерії	Ваги	Критерії	Ваги	Критерії	Ваги	Критерії	Ваги
Ф1	0,466	Ф11	0,25	Ф21	0,116	Ф31	0,062	Ф41	0,026	Ф51	0,018
Ф2	0,27	Ф12	0,123	Ф22	0,074	Ф32	0,043	Ф42	0,018	Ф52	0,018
Ф3	0,136	Ф13	0,048	Ф23	0,049	Ф33	0,02	Ф43	0,014	Ф53	0,012
Ф4	0,069	Ф14	0,035	Ф24	0,025	Ф34	0,008	Ф44	0,007	Ф54	0,008
Ф5	0,058	Ф15	0,011	Ф25	0,006	Ф35	0,003	Ф45	0,004	Ф55	0,002

Рис. 4. Обраховані ваги усіх обраних критеріїв

Для кожного з 25 критеріїв були вибрані по 3 оптимальні пункти спостережень (часто вони повторювались). На рисунку 5 наведено оптимальні пункти спостереження по інтегральному критерію “Близькість до найбільш впливових джерел забруднення атмосферного повітря”

Оптим.1	Оптим.2	Оптим.3
центр м. Ладизин	на в'їзді у м. Гайсин	центр смт. Іллінці
центр м. Ладизин	на в'їзді у м. Гайсин	центр смт. Іллінці
центр м. Ладизин	на в'їзді у м. Гайсин	центр смт. Іллінці
м. Калинівка біля траси	на в'їзді у м. Гайсин	м. Могилів-Подільський
центр м. Ладизин	центр м. Гайсин	центр смт. Іллінці

Рис. 5. Оптимальні пункти спостереження до одному з інтегральних критеріїв

Результат агрегування усіх критеріїв у відповідні інтегральні критерії було зібрано в окремій таблиці, зображену на рисунку 6, яка стала підґрунтям для оптимізації моніторингової мережі атмосферного повітря Вінницької зони за даними 2016-2020 рр.

Критерії та пункти	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4	Ф5	J
Ваги критеріїв	0,5	0,27	0,14	0,069	0,058	1,0
Центр м. Ладижин	4,43	2,70	1,29	0,5	0,45	9,365
На в'їзді в м. Гайсин біля траси	4,24	2,70	0,75	0,6	0,55	8,821
с.мт. Іллінці	3,55	2,69	0,56	0,4	0,24	7,402
Центр м. Хмільник	0,95	0,27	1,15	0,4	0,42	3,152
м. Калинівка біля траси	0,78	1,36	0,25	0,4	0,37	3,131
с. Немія біля м. Могилів-Подільський	1,06	0,81	0,54	0,5	0,21	3,110
м. Могилів-Подільський	1,04	1,07	0,43	0,3	0,24	3,082
У центрі м. Немирів	0,96	0,53	0,69	0,3	0,30	2,728
м. Жмеринка, біля залізничного вокзалу	0,92	0,53	0,26	0,3	0,42	2,395
с. Іванів	0,91	0,32	0,16	0,2	0,22	1,790

Рис. 6. Результат агрегування критеріїв

Висновки

Запропоновано новий підхід щодо визначення пріоритетності місць розташування пунктів спостереження за станом атмосфери з використанням кососиметричної матриці парних порівнянь Сааті. Такий підхід дозволяє комплексно врахувати різні критерії вибору місць розташування пунктів спостережень, використовуючи наявні вхідні дані, а також враховуючи ваги кожного з критеріїв та інтегральних критеріїв. Перевагою розробленої технології є її гнучкість, яка дозволяє, за потреби (буде особливо актуально у післявоєнний період), швидко обраховувати результати.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Директива ЄС «Про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для Європи» [Електронний ресурс] / Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_950#Text.
2. Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України Про затвердження форми Програми державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mepr.gov.ua/documents/3399.html>
3. Saaty T. L. Multicriteria Decision Making: The Analytic Hierarchy Process/ T. L. Saaty. – Pittsburgh: RWS Publ., 1996. 287 p.
4. Мокін В.Б. Технологія проєктування мережі спостережень якості атмосферного повітря регіону на основі методу аналізу ієрархій / В. Б. Мокін, Є. М. Крижановський, А. Р. Яшолт, і Д. О. Шмундяк / Наукові праці ВНТУ, вип. 4, Лют 2022. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/642>
5. Mokin V. I. Decision Support System For The Use Of Funds Received From Higher Education Institution Paid Services / V. I. Mokin, V. B. Mokin, Yu. V. Mokina// Actual Problems in Economics. –2016. – №3 (177). –P.372–383.

Мокін Віталій Борисович – д. т. н., професор, завідувач кафедри системного аналізу та інформаційних технологій.

Крижановський Євгеній Миколайович – к. т. н., доцент кафедри системного аналізу та інформаційних технологій.

Яшолт Андрій Русланович – к. т. н., доцент кафедри системного аналізу та інформаційних технологій.

Шмундяк Дмитро Олександрович – аспірант кафедри системного аналізу та інформаційних технологій.

Пасєвський Борис Вадимович – студент кафедри системного аналізу та інформаційних технологій за спеціальністю 124 «Системний аналіз»

Mokin Vitaliy Borysovych - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Chair of System Analysis and Information Technologies. vbmokin@gmail.com

Kryzhanovsky Eugene Nikolaevich - Ph.D., Associate Professor of the Chair of System Analysis and Information Technologies kruzhan@gmail.com

Yashcholt Andriy Ruslanovych - Ph.D., Associate Professor of the Chair of System Analysis and Information Technologies yasholt@gmail.com

Shmundyak Dmytro Oleksandrovych - graduate student of the Chair of System Analysis and Information Technologies.

Paievskiy Borys Vadymovych - student of the Chair of System Analysis and Information Technologies, specialty 124 "Systems Analysis" borispmw@gmail.com