

УДК 504.4.06

М.Ю. Лосєв

*Харківський національний економічний університет, Харків*

## БАГАТОКРИТЕРІЙНІ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА І СТАНУ ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ МІСТА

*У роботі розглядається оцінка якості повітряного середовища і стану здоров'я населення міста, яке проводиться на основі багатокритерійного аналізу з використанням нечітких множин з метою мінімізації техногенних наслідків виробництва і оптимізації використання місцевого бюджету, призначеного для природоохоронної і оздоровчої діяльності.*

**Ключові слова:** *навколишнє середовище, екологічний стан, антропогенна діяльність, речовина що забруднює, стан здоров'я населення.*

### Вступ

Процеси виробництва супроводжуються утворенням великої кількості шкідливих викидів і речовин, що забруднюють навколишнє середовище і що завдають шкоди здоров'ю населення. Повне рішення цієї проблеми шляхом створення абсолютно екологічно чистих виробництв можна розглядати як одне з пріоритетних завдань технологічного прогресу. Проте на сучасному етапі можна говорити тільки про можливість відшукування деякого компромісу між зростаючими матеріальними потребами і негативними техногенними наслідками виробничої діяльності, що задовольняє ці потреби. Ясно, що йдеться про компроміс між прагненнями зберегти екологічно чисте навколишнє середовище і збільшити суспільне багатство. Наявність суперечливих приватних критеріїв майже автоматично приводить до необхідності обліку суб'єктивної невизначеності в постановці багатокритерійних оптимізаційних завдань (завдань пошуку компромісних рішень). Тому аналіз описаних проблем проводитимемо з використанням методології теорії нечітких множин.

Стан здоров'я населення (СЗН) є віддзеркаленням складного комплексу явищ в навколишньому середовищі. На процес його формування впливає цілий ряд соціально-економічних, а також, біологічних, антропогенних, природно-кліматичних і інших чинників, в сукупності екологічної обстановки регіонів які обстежуються. Для оцінки екологічного стану (ЕС) необхідне екологічне картографування місцевості і створення бази даних по зміряних чинниках забруднення середовища – хімічного, радіаційного і ін. для вироблення регіоні адекватних управлінських і едіко-профілактичних рішень ЕС і СЗН повинні оцінюватися по безлічі приватних чинників, таких як концентрації важких металів, іонів, органічних речовин і ін. Частина з цих характеристик може бути з тією або іншою точністю зміряна (концентрації елементів і інші показники). Інша частина може бути задана в нечіткій верба-

льній формі (наприклад, ступінь вираженості тих або інших захворювань у населення або ступінь його санітарно-гігієнічної обізнаності). Кожний з явно або неявно певних показників породжує відповідний приватний критерій ЕС або СЗН, формалізація якого не тривіальна.

Побудова приватного критерію за принципом: чинник має значення концентрації менше, ніж гранично допустиме (ГДК), – все добре, більше – все погано, не є відповідним рішенням питання, оскільки на практиці далеко не байдуже наскільки зміряний чинник нижчий за ГДК. Крім того часто зустрічаються ситуації, коли якісь чинники взаємозв'язані (що можна визначити на етапі попереднього статистичного аналізу даних), причому поліпшення по одному з показників веде до погіршення по інших.

Традиційні теоретико-імовірнісні методи, через свою аксіоматику, не пристосовані для обробки інформації такого типу, і довгий час наявність описаних вище труднощів просто ігнорувалася. Ясно, що виключення з розгляду якісної інформації, джерелом якої, часто, є багатий досвід і інтуїція кваліфікованих фахівців і осіб, що ухвалюють управлінські рішення, додає результатам лише видимість об'єктивності, на ділі змінюють постановки вирішуваних задач, відводячи їх від реальних потреб практики.

Визначення кількісних оцінок якості ЕС і СЗН, необхідних для вивчення впливу ЕС на СЗН, є в даний час актуальним завданням, не дивлячись на те, що цій проблемі присвячено велике число робіт [1 – 3]. У літературі пропонуються різні методологічні підходи, направлені на рішення цієї задачі. Проте аналіз показує, що вони не враховують багато важливих аспектів, що особливо стосуються внеску якісної і суб'єктивної інформації про характеристики і показники якості явищ.

### Основний матеріал

Інтегральні оцінки стану здоров'я населення і навколишнього середовища знайдемо на основі побудови узагальнених критеріїв ЕС і СЗН як згортки

приватних критеріїв з урахуванням коефіцієнтів їх відносної важливості. Початкова інформація про склад приватних критеріїв ЕС і СЗН може бути одержана на основі даних, наданих міським центром епідеміології і гігієни населеного пункту і лабораторією аналізу медико-біологічних систем. До складу показників повинні входити дані по динаміці і кратності перевищення ГДК основними забруднювачами атмосферного повітря в заданий період часу і по захворюваності населення.

До складу основних забруднювачів атмосферного повітря може входити безліч наступних компонент: сірковуглець, сірководень, спирт метиловий, параксилон, діметілтерефталат, фенол, сірчистий ангідрид, дініл, двоокис азоту, оксид азоту, зважені речовини, оксид вуглецю, свинець, цинк, мідь, бензапирен.

Дані по захворюваності населення включають безліч наступних захворювань: новоутворення, ревматизм в активній фазі, гіпертонія, ІБС, гострий інфаркт міокарду, стенокардія, хронічні фарингіти і назофарингіти, хронічні хвороби мигдалин, пневмонія, хронічний бронхіт і емфізема, бронхіальна астма, виразка шлунку, хронічний гастрит, желчекамінна хвороба, нефрит і нефрози, atopічний дерматит.

Рішення задачі багатокритерійної оцінки і оптимізації якості повітряного середовища в населеному пункті і вивчення її впливу на стан здоров'я населення при обмеженнях фінансового характеру виконуватимемо на основі формування приватних критеріїв якості повітряного середовища. Для згортки приватних критеріїв в узагальнений критерій приватні критерії були приведені до загальної норми. Для цього використовувався математичний апарат теорії нечітких множин. Приведемо приклад побудови приватного критерію у формі уніфікованої функції приналежності до задовільного стану повітряного середовища для такого важливого кількісного показника, як концентрація сірководня С (мг/м<sup>3</sup>).

Відомо, що існує гранично допустима концентрація (ГДК) сірководня, рівна 0.008, вище за яку концентрація С недопустима. В цьому випадку значення  $C < \text{ГДК}$  допустимі, причому ступінь приналежності до цієї концентрації росте із зменшенням С. Для формалізації такої ситуації в рамках теорії нечітких множин використовуємо функцію приналежності до допустимої концентрації шкідливої речовини, з лінією зворотної залежності ступеня приналежності від концентрації. На рис. 1 приведений приклад такої функції для сірководню.

У табл. 1 приведені ранги (ступені негативного впливу на здоров'я) основних забруднювачів, одержані за допомогою матриці парних порівнянь на основі методу Сааті [287]. З таблиці видно, що найбільші ранги одержують речовини, що мають найвищий клас небезпеки згідно списку ГДК забруднень [4].

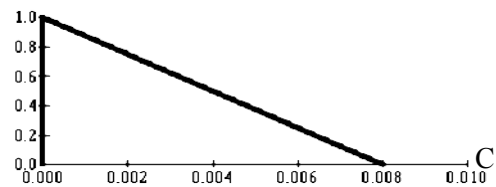


Рис. 1. Функція приналежності до допустимої концентрації сірководню

Таблиця 1

Ранги основних забруднювачів атмосферного повітря м. Краматорська

| Шкідлива речовина  | Ранг шкідливої речовини |
|--------------------|-------------------------|
| Сірковуглець       | 1,3                     |
| Сірководень        | 1,3                     |
| Сірчистий ангідрид | 0,4                     |

Відповідно до виявлених основних забруднювачів і рангів їх значущості стан здоров'я населення можна оцінити по наступних захворюваннях, пов'язаних із забрудненнями атмосферного повітря: хронічним гастритом, хронічним бронхітом і atopічним дерматитом. При цьому побудовані функції приналежності до допустимої концентрації шкідливої речовини такі ж формою, як функція приналежності, яка приведена на рис. 1. При цьому за нижню межу допустимих значень ( $x_1$ ) бралися нульові значення захворюваності за відсутності захворювань, або мінімальні зареєстровані значення цих захворювань. За верхню межу допустимих значень ( $x_2$ ) бралися максимальні зареєстровані значення показників захворюваності в найбільш неблагополучних районах. Ранги захворювань у всіх випадках приймалися рівними одиниці.

Розрахунок глобальних критеріїв якості екологічного стану проводився по виразах, відповідним:

критерію максимального песимізму

$$G_1(C_1, C_2, C_3) = \min(\mu_1(C_1)^{\alpha_1}, \mu_2(C_2)^{\alpha_2}, \mu_3(C_3)^{\alpha_3}); \quad (1)$$

мультиплікативному критерію

$$G_2(C_1, C_2, C_3) = \mu_1(C_1)^{\alpha_1} * \mu_2(C_2)^{\alpha_2} * \mu_3(C_3)^{\alpha_3}; \quad (2)$$

адитивному критерію

$$G_3(C_1, C_2, C_3) = (\alpha_1\mu_1(C_1) + \alpha_2\mu_2(C_2) + \alpha_3\mu_3(C_3)) / 3, \quad (3)$$

де  $\mu_1, \mu_2, \mu_3$  – функції приналежності до допустимої концентрації шкідливої речовини;  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  – ранги шкідливої речовини;  $C_1, C_2, C_3$  – концентрації сірковуглеця, сірководня і сірчистого ангідриду відповідно.

У табл. 2 приведені розраховані значення глобальних критеріїв ЕС за досліджуваній період часу з 1997 по 2005 роки в місті Краматорську. З таблиці 2 видно, що всі значення критеріїв Z1 і Z2 рівні близькі до 0. Це говорить про те, що як мінімум один із забруднювачів повітря в середньому протягом кожного даного року перевищував ГДК. Крім того, критерії Z1 і Z2 практично не змінюються з часом і в цій ситуації опиняються неспроможними. Найбільш інформативним і корисним в даній ситуації опинився адитивний критерій Z3, який і розгляда-

ється надалі, як узагальнений критерій екологічного стану  $Z_{EC}(C_1, C_2, C_3)$ . З даних табл. 2 витікає, що найгірших з погляду стану ЕС для м. Краматорська були 1997 і 2004 роки, а якнайкращим 1999. Таким чином, дана методика дозволяє стежити за динамікою стану повітряного басейну в цілому, а не тільки по окремих складових забруднення.

Таблиця 2

Глобальні критерії якості ЕС  
за період з 1997 по 2005 роки

| Год  | Критерій Z1 | Критерій Z2 | Критерій Z3 |
|------|-------------|-------------|-------------|
| 1997 | 0           | 0           | 0,51        |
| 1998 | 0           | 0           | 0,34        |
| 1999 | 0           | 0           | 0,17        |
| 2000 | 0,001       | 0           | 0,29        |
| 2001 | 0,001       | 0           | 0,36        |
| 2002 | 0,001       | 0           | 0,4         |
| 2003 | 0,001       | 0           | 0,45        |
| 2004 | 0,001       | 0           | 0,53        |
| 2005 | 0,001       | 0           | 0,41        |

На основі аналізу результатів, які представлені в табл. 2 можна зробити висновок про перевагу використання в даному випадку адитивного способу формування глобального критерію, який надалі розглядається як узагальнений критерій стану здоров'я населення. Аналогічні результати можна одержати при формуванні глобального критерію стану здоров'я населення (СЗН) за заданий період часу.

На основі одержаних результатів була розроблена модель оптимального розподілу бюджетних коштів, призначених для поліпшення екологічного стану повітряного середовища на регіональному рівні. При цьому зважало на специфіку забруднюючих чинників і існуюча економічна ситуація, що визначає основні обмеження при ухваленні оптимальних управлінських рішень по охороні здоров'я населення і навколишнього середовища. Математична модель була побудована у вигляді системи регресійних залежностей.

У основу побудови моделі покладено існування прямого зв'язку між витратами, призначеними на очищення атмосферного повітря і концентрацією забруднюючих речовин в ньому, а також наявність пропорційної залежності між концентраціями речовин в повітрі і об'ємами їх викидів. Для отримання відповідних регресійних залежностей були використані дані міської інспекції природних ресурсів м. Краматорська про кількість викидів сірковуглецю, сірководня і сірчистого ангідриду промисловими підприємствами міста, а також відомості про витрати по їх зниженню по роках за період з 1997 по 2005 роки (у цінах 1997 р.). На основі цих даних були розраховані витратні коефіцієнти  $K_i$ , що характеризують кількість грошових коштів, які необхідні для зниження викидів кожного конкретного забруднювача на одну тону. Для початкових даних припустимо, що для зниження викидів сірковуглецю на одну тону необхідно витратити  $K_1 = 2000$  грн, для

зниження викидів сірководня на одну тону необхідно витратити  $K_2 = 6000$  грн, для зниження викидів сірчистого ангідриду на одну тону необхідно витратити  $K_3 = 1500$  грн.

На основі ідентифікації залежностей концентрацій сірководня, сірковуглецю і сірчистого ангідриду в атмосфері від величин викидів, виявлений прямий статистично значущий зв'язок між викидами –  $V_i$  (тис. тонн) і концентраціями речовин в повітрі –  $C_i$  (мг/м<sup>3</sup>) [111]:

$$\begin{aligned} C_1 &= 0,00268 + 0,00344 * V_1; \\ C_2 &= 0,00052 + 0,00216 * V_2; \\ C_3 &= 0,0006 + 0,00038 * V_3, \end{aligned} \quad (4)$$

де  $V_1, V_2, V_3$  – викиди сірководня, сірковуглецю, сірчистого ангідриду відповідно.

Завдання оптимізації бюджету на природоохоронну, оздоровчу діяльність ставилася таким чином. Хай витрати на очищення повітря від окремих забруднюючих речовин дорівнюють  $y_1, y_2, \dots, y_n$ , де  $n$  – кількість тих, що спостережуваних забруднюють речовин, і  $Y$  – бюджет міста, призначений на боротьбу із забрудненнями повітря. Тоді для даного випадку  $n = 3$  очевидно виконуються співвідношення:

$$y_1 + y_2 + y_3 = Y. \quad (5)$$

За даними міської інспекції природних ресурсів м. Краматорська в 2003 році були зареєстровані викиди сірководня, сірковуглецю, сірчистого ангідриду в об'ємах 5.154 тис. т, 0.881 тис. т і 18.203 тис. т, відповідно. На основі цих даних і розрахованих витратних коефіцієнтів  $K_i$  одержані наступні вирази для розрахунку підсумкових об'ємів викидів після проведення екологічних заходів:

$$\begin{aligned} V_1 &= 5,12 - y_1 / 1000K_1; \\ V_2 &= 0,82 - y_2 / 1000K_2; \\ V_3 &= 17,12 - y_3 / 1000K_3, \end{aligned}$$

з яких дозволяють визначити явні залежності концентрацій речовин в атмосфері від витрат на їх зниження:

$$\begin{aligned} C_1 &= 0,00268 + 0,00344 * (5,12 - y_1 / 1000K_1); \\ C_2 &= 0,00052 + 0,00216 * (0,82 - y_2 / 1000K_2); \\ C_3 &= 0,0006 + 0,00038 * (17,12 - y_3 / 1000K_3). \end{aligned} \quad (6)$$

На основі співвідношень (6) можна визначити залежності між значеннями глобальних критеріїв стану здоров'я населення ( $G_{СЗН}$ ) і стану атмосферного повітря ( $G_{ЕС}$ ). При цьому в розрахунках переважно застосовувати адитивні форми глобальних критеріїв, узяті з четвертих стовпців таблиці 2. В результаті статистичного аналізу була одержана наступна регресійна залежність:

$$G_{СЗН} = -0,272 + 2,166 * G_{ЕС}. \quad (7)$$

У побудованому співвідношенні  $G_{ЕС}$  є функцією концентрацій  $C_1, C_2, C_3$ , тому вираз (11) в свою чергу визначає залежність від цих концентрацій критерію  $G_{СЗН}$ . Підставляючи в (7) замість  $C_1, C_2, C_3$  вирази (6) одержимо узагальнений критерій

якості здоров'я як функцію витрат фінансових коштів, призначених на оздоровлення атмосфери в регіоні  $G_{СЗН}(y_1, y_2, y_3)$ .

Покладемо, що базовою метою природоохоронної, оздоровчої політики є зниження захворюваності населення міста хворобами, пов'язаними із забрудненням атмосферного повітря, шляхом оптимального розподілу бюджету міста, призначеного на боротьбу з цими забрудненнями. В цьому випадку завдання оптимізації природоохоронного бюджету сформулюємо таким чином:

$$G_{СЗН}^{opt} = \max(G_{СЗН}) = \max(G(y_1, y_2, y_3)), \quad (8)$$

де на  $y_1, y_2, y_3$  накладене обмеження (5).

На рис. 2 приведений графік розрахованих значень глобальних критеріїв якості СЗН і ЕС залежно від розмірів бюджету.

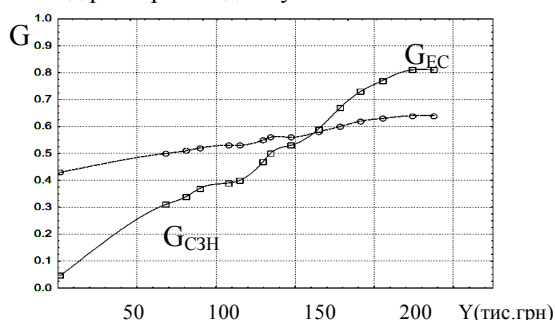


Рис. 2. Залежність глобальних критеріїв якості СЗН і ЕС від об'єму фінансування

З рисунка видно, що якщо не вкладати гроші в очисні заходи щодо охорони повітряного басейну міста, то захворюваність хронічними бронхітами, гастритами і atopічними дерматитами матиме гранично високий рівень, відповідний найбільш низькому значенню глобального критерію якості здоров'я ( $G_{СЗН} = 0,05$ ). При збільшенні фінансування від нуля до 200000 грн. походить постійне поліпшення стану ЕС і СЗН. Фінансування понад 200000 грн. фактично не приводить до подальшого поліпшення екологічного стану здоров'я населення, оскільки сума в 210000 грн. виявляється достатньою для практично повного припинення викидів сірковуглецю, сірководня і сірчистого ангідриду існуючими джерелами забруднень.

### МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ И СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ ГОРОДА

М.Ю. Лосев

В работе рассматривается оценка качества воздушной среды и состояния здоровья населения города, которая проводится на основе многокритериального анализа с использованием нечетких множеств с целью минимизации техногенных последствий производства и оптимизации использования местного бюджета, предназначенного для природоохранной и оздоровительной деятельности.

**Ключевые слова:** окружающая среда, экологическое состояние, антропогенная деятельность, состояние здоровья населения, загрязняющее вещество.

### MULTICRITERIA ESTIMATIONS OF QUALITY OF AIR ENVIRONMENT AND STATE OF HEALTH OF POPULATION OF CITY

M.Y. Losev

Estimation of qualities of air environment and state of population' health is considered in the work. The estimation is conducted on the basis of multicriterion analysis with the use of fuzzy sets. The purpose of the assessment is a minimization of technogenykh consequences of production and optimizing the use of the local budget intended for nature protection and health activity.

**Keywords:** environment, ecological state, state of health of population, contaminating the matter.

### ВИСНОВКИ

Багатокритерійні оцінки якості повітряного середовища і стану здоров'я населення можуть бути використані територіальними природоохоронними органами при визначенні величини екологічного збитку в наступних випадках:

розробці щорічного і перспективного прогнозів соціально-економічного розвитку регіонів;

оцінці результатів діяльності територіальних природоохоронних органів;

при нормуванні чисельності і фінансового забезпечення територіальних природоохоронних органів;

розробці і узгодженні програм і заходів, направлених на зниження (запобігання) негативних наслідків господарської діяльності для навколишнього природного середовища і її окремих еколого-ресурсних компонентів (атмосферне повітря, водні ресурси, земельні ресурси, біоресурси).

На основі оцінки якості повітряного середовища і стану здоров'я населення можна виконувати ранжування регіонів по ступеню забрудненості повітряних ресурсів і рекомендувати природоохоронним організаціям ретельніше контролювати стан навколишнього середовища.

### Список літератури

1. Калмыков С.А. Методы интервального анализа / С.А. Калмыков, Ю.И. Шокин, З.Х. Юлдашев. – Новосибирск: Наука, 2006. – 223 с.
2. Lave L. Air Pollution and Human Health / L. Lave, R. Seskin // Science. – 2005. – Vol. 8. – P. 67-80.
3. William N. Rom. Environmental and Occupational Medicine. Second Edition / William N. Rom.. – Boston – Toronto – London: Little: Brown and Company, 2002. – 1493 p.
4. Дилигенский Н.В. Нечеткое моделирование и многокритериальная оптимизация производственных систем в условиях неопределенности: технология, экономика, экология / Н.В. Дилигенский, Л.Г. Дьмова, П.В. Севастьянов. – М.: Машиностроение-1, 2004. – 397 с.

Надійшла до редколегії 23.09.2011

**Рецензент:** д-р техн. наук, доц. К.О. Метешкін, Харківська національна академія міського господарства, Харків.