

М.Ю. Лосєв, Г.Р. Леонова, М.Б. Глазнєва

Харківський національний економічний університет ім. Семена Кузнеця, Харків

## ОЦІНКА СТАНУ ЕКОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ НЕЧІТКИХ МНОЖИН

*Розглядається методика багатокритеріальної оцінки стану техніко-екологічних систем, які описуються множиною показників. Методика дозволяє формалізувати нечітку інформацію про зв'язки між об'єктами і тим самим зменшити можливі помилки, пов'язані з втратою чи надмірним загрубленням вихідних даних.*

**Ключові слова:** атмосферне повітря, нечіткі множини, забруднююча речовина, техніко-екологічна система, ризик зараження повітря, клас небезпеки.

### Вступ

Сучасний розвиток науки і техніки відбувається в світі складних системних відносин і величезного обсягу інформаційних потоків. Такі умови вимагають нових підходів до аналізу виникаючих проблем і прийняття управлінських рішень, що базуються на теоретичному і прикладному апараті системного аналізу. Значне число завдань з аналізу поведінки та управління складними системами доводиться вирішувати в умовах неповних, нечітких і невизначених суджень, коли використання формалізованої мови традиційної математики істотно збіднює математичну модель вироблення рішення, не дозволяє враховувати всіх деталей проблемної ситуації і часто призводить до невдалих і неправильних рішень. Численними дослідженнями вітчизняних і зарубіжних вчених було показано, що для успішного вирішення завдань в умовах нечіткої інформації доцільно використовувати апарат нечіткої логіки прийняття рішень.

Задача оцінювання стану системи вимагає побудови оціночної моделі, що дозволяє отримати узагальнену оцінку стану на основі ряду різномірних критеріїв і показників якості – цілей функціонування системи. Узагальнення показників якості можливе різними способами, кожний з яких має свої переваги і недоліки [1].

В даний час все більш широке поширення набувають способи оцінки, засновані на нечіткому підході. Основними достоїнствами нечітких оціночних моделей є:

- можливість гнучкого об'єднання різномірних критеріїв;
- можливість формулювати правила оцінки в термінах природної мови.

Остання обставина дозволяє описувати практично нескінченне число станів системи кінцевою множиною термів.

Оцінка екологічного стану навколишнього середовища припускає наявність вихідної інформації про параметри, її характеристик і адекватних методів оцінювання. Проте в реальній дійсності дослід-

ники та особи, що приймають рішення в галузі екології змушені враховувати при оцінці поряд з кількісними показниками інформацію якісного характеру. Крім того, величезна різноманітність параметрів призводить до незрівнянності оцінюваних природних об'єктів в цілому. Таким чином, екологічний моніторинг є складним багатокритеріальним завданням, яке підлягає впливу великої кількості факторів. Отже, необхідний підхід, суть якого в поступовому наближенні до повного набору знань. Це можливо зробити, застосовуючи методику багатокритеріальної оцінки стану складних систем [2].

### Основний матеріал

Сьогодні в усьому світі прийнято приділяти велику увагу проблемам екології. Діяльність людини з освоєння природного середовища породила не тільки нові можливості зростання добробуту людства, а й призвела до глибокої кризи стану навколишнього середовища. Оскільки жоден керівник не працюватиме собі у збиток, дуже важливо дотримати баланс між екологічною безпекою, що вимагає значних грошових вливань, та економічною ефективністю діяльності господарюючого суб'єкта.

Для прийняття управлінського рішення в цьому випадку доцільно використовувати математичне моделювання. Поняття нечіткої множини – це спроба математичної формалізації нечіткої інформації для побудови математичних моделей. В основі цього поняття лежить уявлення про те, що складає множину елементів, які володіють загальною властивістю, можуть володіти цією властивістю в різній мірі і, отже, належати до даної множини з різним ступенем. При такому підході висловлювання типу "такий-то елемент належить даній множині" втрачають сенс, оскільки необхідно вказати "наскільки сильно" або з яким ступенем конкретний елемент задовольняє властивостям даної множини.

Під нечіткою множиною  $A$  розуміється сукупність упорядкованих пар, складених з елементів  $x$  універсального множини  $X$  і відповідних ступенів належності  $\mu_A(x)$

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\},$$

причому  $\mu_A(x)$  – функція приналежності (характеристична функція), яка вказує, в якій мірі елемент  $x$  належить нечіткій множині  $A$ .

Функція  $\mu_A(x)$  приймає значення в деякій лінійно впорядкованій множині  $M$ . Множина  $M$  називають множиною приналежностей, часто в якості  $M$  вибирається відрізок  $[0,1]$ . Якщо  $M = \{0,1\}$  (тобто складається тільки з двох елементів), то нечітка множина може розглядатися як звичайна, чітка множина.

Застосування теорії нечітких множин в різних проблемах ухвалення рішень в багатьох випадках пов'язане з використанням нечітких відносин. Будучи узагальненням звичайних відносин, вони дозволяють формалізувати нечітку інформацію про зв'язки між об'єктами і тим самим зменшити можливі помилки, пов'язані з втратою чи надмірним огрубленням вихідних даних.

В роботі пропонується використовувати для визначення ступеня впливу підприємств на стан атмосферного повітря методику оцінки стану на основі нечітких уявлень. Можливо посилити підхід до аналізу ризику зараження атмосферного повітря, об'єднуючи облік кількісних і якісних показників в аналізі, причому розглядаючи їх не тільки в статистиці, але і в динаміці. Проте наявні методи не надають аналітикам подібної можливості.

Думка застосувати нечіткі множини до екологічного аналізу підприємств є одним із способів, який допоможе боротися з невизначеністю не тільки статистичною, але й лінгвістичною, тобто з невизначеністю висловлювань природною мовою. Якщо говориться, що ймовірність зараження «мала», а значення того чи іншого показника «задовільно», то слід було б підшукати формалізми і кількісні описи для висловлювань подібного роду, щоб вже на суворій мові математики дати зрозуміти, що все-таки мається на увазі. І не тільки зрозуміти, але і зробити наукові висновки на основі отриманих нечітких описів.

На даний момент, теорія нечітких множин знайшла досить широке застосування і в техніці, і в економіці. Однак у вітчизняній практиці екологічного аналізу ці методи використовуються або вкрай рідко, або ж взагалі не використовуються. Для того, щоб втілити методику, необхідно пройти декілька етапів.

**Етап 1.** Введемо наступні базові множини і підмножини станів, описані природною мовою:

*А. Певна множина станів Е – це стан повітря на даному підприємстві, яке розбите на п'ять підмножин:*

- Е1 – станів "граничного неблагополуччя";
- Е2 – станів "неблагополуччя";
- Е3 – станів "середньої якості";
- Е4 – станів "відносного благополуччя";
- Е5 – станів "граничного благополуччя".

Пропонується наступне ранжування підприємств по 5 категоріям оцінки впливу на атмосферне повітря, в разі визначення категорії підприємства така оцінка виконується щодо заходів державного регулювання і розробки природоохоронних заходів [4].

*Для підприємств 5-ї категорії* ступінь негативного впливу їх викидів на атмосферне повітря не перевищує 10% від величини використовуваних критеріїв якості атмосферного повітря. Відносно таких об'єктів надають мінімальний вплив на навколишнє середовище, передбачається не застосовувати заходи державного регулювання.

*До четвертої категорії* відносяться підприємства, викиди яких не створюють умов для порушення стандартів якості атмосферного повітря. Для таких підприємств необхідно проведення розрахунків забруднення атмосфери, але не потрібна розробка природоохоронних заходів, і нормативи гранично допустимих викидів можуть встановлюватися на рівні існуючих викидів.

*Викиди підприємств 3-ї категорії* в окремі періоди часу можуть створювати зони підвищеного забруднення в районах житлової забудови, проте їх внесок у середньорічне забруднення не перевищує допустимого. Для таких підприємств необхідна розробка заходів щодо зниження негативного впливу на атмосферне повітря максимальних разових викидів.

*До 2-ї категорії* належать підприємства, викиди яких створюють особливо значиму навантаження на атмосферне повітря в районі їх розташування, для зниження якої необхідне проведення комплексу заходів по скороченню максимальних разових і валових викидів забруднюючих речовин. В зонах забруднення, створених викидами таких підприємств, концентрації можуть у кілька разів перевищувати оптимальні параметри якості атмосферного повітря. Також необхідний ретельний контроль за викидами забруднюючих речовин.

*До 1-ї категорії* належать підприємства, викиди яких завдають непоправної шкоди екології на місці їх розташування. Необхідно проведення невідкладного комплексу заходів по скороченню як максимальних разових, так і валових викидів забруднюючих речовин. В зонах забруднення необхідне проведення заходів з ліквідації наслідків забруднення [5].

*Б. Відповідна множині Е певна множина ступенів ризику зараження атмосферного повітря G розбивається на 5 підмножин:*

- G1 – "граничний ризик зараження";
- G2 – "ступінь ризику зараження висока";
- G3 – "ступінь ризику зараження середня";
- G4 – "низький ступінь ризику зараження";
- G5 – "ризик зараження незначний".

Тут і далі припускаємо, що показник  $G$  приймає значення від нуля до одиниці за визначенням.

В. Для довільного окремого показника  $X_i$ , який характеризуватиме викиди речовини, повна множина його значень  $V_i$  розбивається на чотири підмножини:

- $V_{i1}$  – "дуже низький рівень показника  $X_i$ ",
- $V_{i2}$  – "низький рівень показника  $X_i$ ",
- $V_{i3}$  – "середній рівень показника  $X_i$ ",
- $V_{i4}$  – "високий рівень показника  $X_i$ ",

причому тут і далі за замовчуванням припускаємо:

1. Зменшення окремого показника  $X_i$  пов'язане зі зниженням ступеня ризику зараження з поліпшенням самопочуття розглянутого підприємства. Якщо для даного показника спостерігається протилежна тенденція, то в аналізі його слід замінити сполученим.

2. Виконується додаткова умова відповідності множин  $B, E_i, G$  такого вигляду: якщо всі показники в ході аналізу володіють, відповідно до класифікації, рівнем підмножини  $B_{ij}$ , то стан підприємства кваліфікується як  $E_j$ , а ступінь ризику зараження – як  $G_j$ . Виконання цієї умови впливає, з одного боку, на правильну кількісну класифікацію рівнів показників і на правильне визначення рівня значущості показника в системі оцінки.

**Еман 2** (Показники). Побудуємо набір окремих показників  $X = \{X_i\}$  загальним числом  $N$ , які, на думку експерта-аналітика, з одного боку, впливають на оцінку ризику зараження підприємства, а з іншого боку, оцінюють різні підприємства (щоб уникнути дублювання показників з точки зору їх значущості для аналізу).

**Еман 3** (Значимість). Зіставимо кожному показнику  $X_i$  рівень його значущості. Щоб оцінити цей рівень, потрібно розташувати всі показники по порядку убудування значимості так, щоб виконувалося правило:

$$r_1 \geq r_2 \geq \dots \geq r_N.$$

Для того щоб визначити рівень забруднення

для підприємства, необхідно проранжувати основні забруднюючі речовини згідно з класами небезпеки. Клас небезпеки шкідливих речовин – умовна величина, призначена для спрощеної класифікації потенційно небезпечних речовин. Клас небезпеки встановлюється відповідно до нормативних галузевими документами, для різних об'єктів – для хімічних речовин, для відходів [4].

Ознаки визначення класу небезпеки встановлені стандартом ГОСТ 12.1.007-76 «Класифікація і загальні вимоги безпеки». За ступенем впливу на організм шкідливі речовини підрозділяються на чотири класи небезпеки, представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Класи небезпеки речовин

Клас небезпеки	Ступінь небезпеки	Речовини
I	Надзвичайно небезпечні речовини	–
II	Високо небезпечні речовини	Діоксид азоту
III	Помірно небезпечні речовини	Діоксид сірки, пил
IV	Мало небезпечні речовини	Оксид вуглецю

Для визначення ступеню ризику зараження атмосферного повітря речовиною необхідно мати класифікацію стану викидів. Для наочності складемо графіки (рис. 1), на яких представимо трапеції подібні функції приналежності можливих значень показників різноманітним станам.

За результатами вимірювань можливо розрахувати ступінь ризику зараження атмосферного повітря. Значення показника може бути на межі двох станів або належати до одного стану (табл. 2).

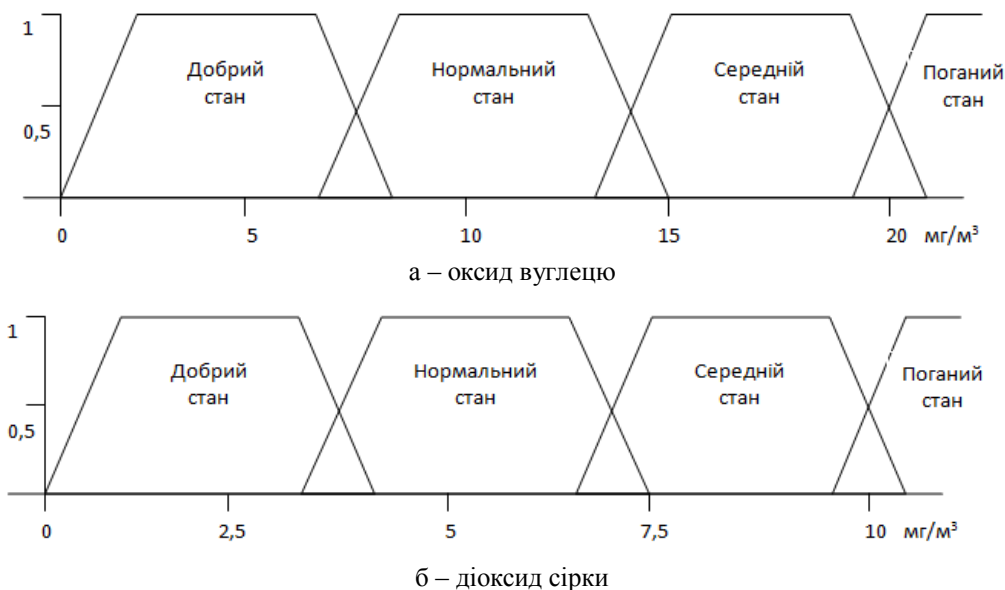


Рис. 1. Функції приналежності можливих значень показників різноманітним станам

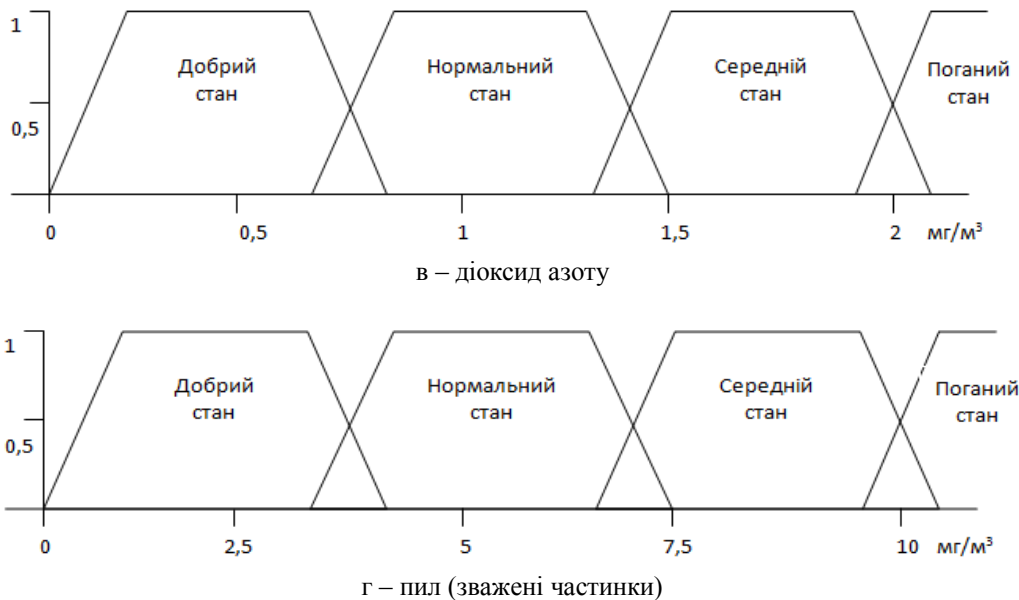


Рис. 1. Функції приналежності можливих значень показників різноманітним станам (закінчення)

Таблиця 2  
Значення станів викидів речовини

$V_i$	$V_1$ добрий стан	$V_2$ нормальний стан	$V_3$ середній стан	$V_4$ поганий стан
Значення	0,25	0,5	0,75	1

Якщо значення показника потрапляє на межу двох станів, то ступень ризику зараження речовиною розраховуємо за формулою:

$$G_i = r_i (\gamma_1 P_{x1} + \gamma_2 P_{x2}), \quad (1)$$

де  $G_i$  - ступень ризику зараження речовиною;  
 $P_{x1}, P_{x2}$  - коефіцієнти значущості (ваги) станів;  
 $\gamma_1, \gamma_2$  - рівні приналежності до першого та другого стану;

$r_i$  - клас небезпеки речовини.

Якщо значення показника знаходиться не на межі двох станів, то ступень ризику зараження речовиною розраховуємо за формулою:

$$G_i = r_i \gamma_1 P_{x1}. \quad (2)$$

Ступень ризику зараження атмосферного повітря, яка враховує всі речовини, можна розрахувати відповідно наступному виразу:

$$G_t = \sum_{i=1}^n r_i (\gamma_1 P_{x1} + \gamma_2 P_{x2}), \quad (3)$$

де  $n$  - кількість речовин;

$G_t$  - ступень ризику зараження атмосферного повітря.

Максимально можливий ризик зараження може бути розрахований за формулою:

$$G_{max} = V_4 \sum_{i=1}^n r_i, \quad (4)$$

де  $G_{max}$  - максимальний ступень ризику зараження;  
 $V_4$  - показник, який характеризує максимально поганий стан викидів речовини.

Нормований показник ризику зараження атмосферного повітря розраховується відповідно наступного виразу:

$$G_n = \frac{G_t}{G_{max}}. \quad (5)$$

В табл. 3 наведені результати розрахунків ступеню ризику зараження речовинами за формулою (1).

Таблиця 3  
Ступень ризику зараження речовиною

Назва речовини	$G_i$	$r_i$	$\gamma_1$	$\gamma_2$	$P_{x1}$	$P_{x2}$
Оксид вуглецю	2,4	4	0,6	0,4	0,5	0,75
Діоксид сірки	1,125	3	0,5	0,5	0,25	0,5
Діоксид азоту	1,15	2	0,7	0,3	0,5	0,75
Пил	1,875	3	0,5	0,5	0,5	0,75

В табл. 4 наведені результати розрахунків ступеню ризику зараження атмосферного повітря за формулою (3).

Таблиця 4  
Ступень ризику зараження атмосферного повітря

$G_t$	$G_{\text{оксид вуглецю}}$	$G_{\text{діоксид сірки}}$	$G_{\text{діоксид азоту}}$	$G_{\text{пил}}$
6,55	2,4	1,125	1,15	1,875

Знаходимо максимально можливе зараження за усіма речовинами (табл. 5).

В табл. 6 наведені результати розрахунків нормованого показника ризику зараження повітря.

Графік показника ступеня ризику зараження атмосферного повітря у різний період часу представлено на рис. 2.

Таблиця 5  
Максимально можливе зараження  
за усіма речовинами

Назва речовини	$G_{\max}$	$r_i$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$
Оксид вуглецю	12	4	1	-	-	-
Діоксид сірки		3	-	1	-	-
Діоксид азоту		2	-	-	1	-
Пил		3	-	-	-	1

Таблиця 6  
Показники ризику зараження повітря

$G_n$	$G_t$	$G_{\max}$
0,54	6,55	12



Рис. 2. Ступінь ризику зараження повітря у різний період часу  $G_n$

### 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 можна виконувати ранжування регіонів по ступеню забрудненості повітряних ресурсів і рекомендувати природоохоронним організаціям ретельніше контролювати стан навколишнього середовища.

### Список літератури

1. Яхьяева Г.Е. Нечеткие множества и нейронные сети. Серия: Основы информационных технологий / Г.Е. Яхьяева. – БИНОМ, 2008. – 320 с.
2. Габитов Р.Х. Методологические аспекты правовой охраны атмосферы земли в современных условиях / Р.Х. Габитов. – Уфа.: БГУ, 2007.
3. СНиП 17.2.1.01-76. Охрана природы. Атмосфера. Классификация выбросов по составу.
4. ГОСТ 17.2.3.02-78. Охрана природы. Атмосфера. Правила установления допустимых выбросов загрязняющих веществ промышленными предприятиями.
5. Наполов О.Б. Влияние техногенных факторов на состояние окружающей среды и здоровья человека. Экологические проблемы современности / О.Б. Наполов, М.В. Анисимова // Сборник статей международной научно-практической конференции «Экология жизни». – Пенза, 2005. – 153 с.

Надійшла до редколегії 17.10.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. К.О. Метешкін, Харківська національна академія міського господарства ім. О.М. Бекетова, Харків.

### ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

М.Ю. Лосев, А.Р. Леонова, М.Б. Глазнева

В работе рассматривается методика многокритериальной оценки состояния технико-экологических систем, которые описываются множеством показателей. Методика позволяет формализовать нечеткую информацию о связях между объектами и тем самым уменьшить возможные ошибки, связанные с потерей или чрезмерным огрублением исходных данных.

**Ключевые слова:** атмосферный воздух, нечеткие множества, загрязняющее вещество, технико-экологическая система, риск заражения воздуха, класс опасности.

### ASSESSMENT OF ECOLOGICAL SYSTEMS BASED ON FUZZY SETS

M.Y. Losev, H.R. Leonova, M.B. Hlaznieva

In this paper the method of multicriteria assessment of the technical and ecological systems, which are described by the set of indicators. The technique allows to formalize fuzzy information about the connections between objects and thereby reduce the potential errors associated with the loss or excessive coarsening of the original data.

**Keywords:** air, fuzzy sets, pollutants, technical and ecological system, the risk of contamination of air, the hazard class.