

з критичним станом доквілля. Тривала, інтенсивна та майже однобічна (видобуток монопродукту) експлуатація надр Кривбасу призвела до вичерпання екологічної ємності доквілля.

Література

1. Андрієвський І.Д. Реформування економічного механізму користування надрами: регулятора економічної, екологічної та соціальної безпеки країни : монографія / І.Д. Андрієвський, М.М. Коржнев, П.І. Пономаренко. – К.: ВПЦ «Київський університет», 2007. – 195 с.
2. Кун Т. Структура научних революцій: Пер с англ./ Т.Кун.- М.: Прогресс, 1977.- 341с.
3. Павлов В.И. Ресурсосбережение в индустриально развитых странах / В.И. Павлов // Пищевая промышленность. – 2002. - № 1.- С. 26-32.
4. Плотніков О.В. Економічні проблеми розвитку залізорудної мінерально-сировинної бази України / О.В. Плотніков, О.В. Криворучкіна, О.М. Буричка // Економіка підприємства: проблеми теорії та практики. – Дніпропетровськ: Наука і освіта.- 2003. – Вип. 185. – т. 4. - С. 918-932.
5. Садеков А.А. Екологізація підприємництва як фактор сталого розвитку / А.А. Садеков // Торгівля, комерція, підприємництво: Зб. наук. пр. – 2001. – С. 325-327.
6. Сизоненко О.А. Економічні проблеми екологічних інновацій / О.А. Сизоненко // Проблеми раціонального використання соціально-економічного та природно-ресурсного потенціалу регіону: фінансова політика та інвестиції. Випуск X., ювілейний: Зб. наук. пр., № 3-4. - Луцьк: Надтир'я, 2004. - № 1-2. – С. 267-272.

338.57

Грабарев А.В., аспірант,

ДВНЗ «Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана»

МОДЕЛЬ ПЛАНУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ЗАХОДІВ В РЕГІОНІ

Сукупний вплив всіляких антропогенних дій в регіоні призводить до ускладнення екологічної обстановки. Виникають проблеми раціонального планування заходів по ліквідації негативних екологічних ситуацій, побудови математичних моделей для цієї мети.

Труднощі побудови математичних моделей планування в екологічних системах пов'язані з надзвичайною складністю функціональних залежностей, великою кількістю чинників, що погано піддаються обліку. Як правило, для вказаної мети не може бути використаний статистичний підхід: екологічні ситуації можуть бути просто "разовими", не повторюватися в однотипних умовах, але вимагати оперативного втручання.

Нижче викладений підхід до планування екологічних заходів в регіоні на основі методів експертного оцінювання, формування слабкоструктурованої оптимізаційної моделі та її розв'язання, що використовує властивості монотонних функцій алгебри логіки [1].

Хай в регіоні проведений аналіз екологічної обстановки і вирішено прийняти деякі заходи для покращення ситуації.

Позначимо $\{x_1, \dots, x_n\}$ - набір заходів, які пропонують застосувати фахівці. Введемо змінні:

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{якщо заходи } x_i \text{ буде виконано;} \\ 0, & \text{в іншому випадку} \end{cases}$$

Природно, що для кожного заходу можна оцінити витрати:

$$c_1, \dots, c_n$$

Якщо обсяг коштів A , виділених на екологічні заходи, менше загальної суми витрат

$$\sum_{i=1}^n c_i > A,$$

то виникає проблема вибору з n заходів деякого набору, що забезпечує покращення ситуації в регіоні. Такий набір, задається булевим вектором.

Вважається, що нерівність має місце, і серед $\{x_1, \dots, x_n\}$ міститься значна кількість складно взаємодіючих і ресурсоємних заходів.

Назвемо комплекс заходів $\tilde{x} = (x_1, \dots, x_n)$ оптимальним, якщо він дозволяє покращити обстановку в регіоні та має найменшу суму витрат

$$\sum_{i=1}^n c_i \bar{x}_i$$

в порівнянні з будь-яким іншим комплексом, що має ту ж властивість.

Серед $2^n - 1$ комплексів деякі дозволяють "відновити" обстановку, а деякі - ні.

Назвемо перші з них \mathcal{R} - комплексами.

\mathcal{R} є підмножина B^n - множини вершин n - вимірного одиничного куба.

Завданням експертів є аналіз запропонованих комплексів заходів і ухвалення рішень, які набори $\bar{x} = (x_1, \dots, x_n)$ будуть \mathcal{R} -комплексами, а які такими не будуть. Процедура роботи експертів полягає в наступному.

1. Експерти пропонують комплекси, які, на їх думку, реалізуються (сума не перевищує A) і є \mathcal{R} - комплексами.

2. Множина \mathcal{M} пропозицій піддається ревізії, і, наприклад, на основі мажоритарного рішення колективу експертів, встановлюється, які $\bar{x} \in \mathcal{M}$ є \mathcal{R} - комплексами $\{ \dots \}$, а які - не є ними $\{ \dots \}$
 $\mathcal{M} = \mathcal{M}_{\mathcal{R}} \cup \mathcal{M}_{\bar{\mathcal{R}}}$; $\mathcal{M}_{\mathcal{R}} \cap \mathcal{M}_{\bar{\mathcal{R}}} = \emptyset$

Кількість можливих комплексів значно перевищує потужність множини \mathcal{M} . Мають місце включення: $\mathcal{M}_{\mathcal{R}} \subset \mathcal{R} \subset B^n$; $\mathcal{M}_{\bar{\mathcal{R}}} \subset (B^{n \setminus \mathcal{R}})$.

Для вирішення поставленого завдання - вибору з \mathcal{R} оптимального комплексу - необхідно знати всю множину \mathcal{R} (або її опис), але в реальних умовах можливе знання лише двох підмножин $\mathcal{M}_{\mathcal{R}} \subset \mathcal{R}$ та $\mathcal{M}_{\bar{\mathcal{R}}} \subset (B^{n \setminus \mathcal{R}})$.

Назвемо задачу

$$\begin{cases} \min \sum_{i=1}^n c_i x_i; (x_1, \dots, x_n) \in \mathcal{R} \subset B^n; \\ \mathcal{M}_{\mathcal{R}} \subset \mathcal{R}; \mathcal{M}_{\bar{\mathcal{R}}} \subset (B^{n \setminus \mathcal{R}}); x_i \in \{0, 1\}; \end{cases}$$

слабкоструктурованою моделлю екологічних заходів в регіоні. Необхідно відзначити, що множина \mathcal{R} в загальному випадку невідома: про неї задана інформація у вигляді двох підмножин:

$$\mathcal{M}_{\mathcal{R}} \subset \mathcal{R} \text{ и } \mathcal{M}_{\bar{\mathcal{R}}} \subset (B^{n \setminus \mathcal{R}}).$$

Для аналізу моделі введемо характеристичну булеву функцію

$$\psi(x) = \begin{cases} 1, & x \in \mathcal{R}, \\ 0, & x \in \bar{\mathcal{R}}. \end{cases} \quad \psi: B^n \rightarrow \{0, 1\}.$$

За визначенням ψ - монотонна функція. Дійсно, якщо для деякого $\bar{a} \in B^n$ маємо $\psi(\bar{a}) = 1$, то комплекс $\bar{\beta} \geq \bar{a}$ одержується додаванням одиниць замість нулів в деяких розрядах з $\alpha_1, \dots, \alpha_n$, і тоді \bar{a} -комплекс и $\bar{\beta}$ - комплекс (додавання "відновних" заходів, вочевидь, надає "неруйнівну" дію), але тоді $\psi(\bar{\beta}) = 1$.

Розв'язання задачі складається з наступних етапів.

I. У формулюванні задана часткова монотонна функція

$\varphi(x)$:

$$\varphi(x) = \begin{cases} 1, & x \in \mathcal{M}_{\mathcal{R}} \\ 0, & x \in \mathcal{M}_{\bar{\mathcal{R}}} \\ \text{невідомо, } & x \in (\mathcal{M}_{\mathcal{R}} \cup \mathcal{M}_{\bar{\mathcal{R}}})^c \end{cases}$$

Природно, тривіальний комплекс $0 = (0, 0, \dots, 0)$ завжди можна (і потрібно) додати до множини $\mathcal{M}_{\bar{\mathcal{R}}}$.

На першому етапі необхідно до визначити функцію $\varphi(x)$ у класі монотонних функцій, яке повинне щонайкраще наближати ψ :

$$\sum_{x \in B^n} |\psi(x) - \varphi(x)| \rightarrow \min_{\varphi} \in M \subset P_2(n)$$

де M - множина монотонних функцій;

$P_2(n)$ - множина всіх булевих функцій

Методи побудови таких наближень відомі [2].

Відновлення функції Ψ рівносильно відновленню обмежень задачі, тому на другому етапі розв'язується повністю визначна задачі булевого програмування. Більш того, з факту монотонності функції Ψ негайно слідує існування лінійних обмежень для відновленої задачі:

$$\begin{cases} \min \sum_{i=1}^n c_i x_i; \\ \sum_{i=1}^n a_{ij} x_i \geq b_j, j = \overline{1, m}; \\ x_i \in \{0, 1\}; a_{ij}, b_j \in \mathbb{R}^+; i = \overline{1, n}. \end{cases}$$

Фізичний зміст коефіцієнтів моделі полягає в наступному:

a_{ij} - сила дії i -го заходу на зменшення впливу j -го негативного чинника екологічної дії;

b_j – гранично допустимий рівень мінімізації впливу j -го негативного чинника екологічної дії;

m - кількість негативних чинників.

В цій моделі постулюється, що вартість реалізації певних екологічних заходів c_i задана. Відкритим залишається питання щодо кількісної (чи принаймні лінгвістичної) оцінки коефіцієнтів a_{ij} та гранично допустимого рівня мінімізації впливу j -го негативного чинника екологічної дії b_j . В загальному випадку оцінити їх можливо лише експертним шляхом.

Необхідно зауважити, що для різних негативних факторів j , фізичні одиниці вимірювання та шкали для коефіцієнтів ступеня мінімізації впливу a_{ij} та гранично допустимого рівня b_j будуть різними і тому постає проблема у приведенні їх до уніфікованого (порівняного) вигляду. В першому наближенні значення елементів b_j можна задати як лінгвістичні (нечіткі) змінні, що приймають значення з інтервалу $[0,1]$, наприклад, 0.25 – недостатній рівень мінімізації, 0.5 – допустимий рівень, 0.75 – бажаний рівень.

Для оцінки параметрів a_{ij} можна скористатись методом аналізу ієрархій (МАІ), який був запропонований Т.Сааті [3-4]. МАІ – це систематична процедура, що ґрунтується на ієрархічному представленні елементів, які визначають суть проблеми. Проблема розбивається на простіші складові з наступним оцінюванням особою, що приймає рішення (ОПР), відносного ступеня взаємодії елементів ієрархії. В МАІ використовуються оцінки елементів ієрархії в шкалі відношень, метод полягає в послідовному синтезі множинних тверджень, отриманні пріоритетності критеріїв та знаходженні альтернативних рішень

Одна із можливих модифікацій МАІ полягає у попарному порівнянні елементів множини заходів X відносно ступеня їх домінування щодо мінімізації негативного впливу кожного з m факторів негативного впливу. Парні порівняння проводяться в термінах домінування одного елемента (заходу) над іншим (який елемент більш важливий, бажаний, має більший вплив або внесок в результат досягнення мінімально допустимого граничного рівня b_j), за допомогою 9-ти бальної шкали (табл. 1).

Таблиця 1

Шкала відносної переваги елементів ієрархії в МАІ

Бал (v)	Визначення	Примітка
1	Рівна важливість	Рівна важливість варіантів, рівна значущість критеріїв, або рівний вклад двох видів діяльності в досягнення мети
3	Помірна перевага	Існують певні підстави (але не надто переконливі) щодо переваг одного варіанта (елемента) щодо іншого
5	Суттєва перевага	Є надійні дані або логічні підстави щодо важливості одного елементу ієрархії щодо іншого
7	Значна перевага	Є надто переконливі підстави щодо вагомості одного елементу по відношенню до іншого
9	Абсолютна перевага	Ступінь важливості, вагомості, домінування одного елементу щодо іншого не викликає сумнівів і є найбільшою
2,4,6,8	Проміжні значення між суміжними оцінками	Застосовуються в компромісних випадках
1/v	Обернені величини	Якщо i -му елементу при порівнянні з j -м присвоєно бал переваги v , то j -му при порівнянні з i -м буде присвоєно відповідно ступінь переваги $1/v$

Розглянемо в загальному випадку формування матриці парних порівнянь. Нехай x_1, x_2, \dots, x_n елементи множини заходів, а v_1, v_1, \dots, v_n – їх відносні ваги або пріоритети стосовно j -го негативного фактора. Тоді матриця парних порівнянь має вигляд:

$$X = \begin{bmatrix} \text{елементи} & x_1 & x_2 & \dots & x_n \\ x_1 & v_1/v_1 & v_1/v_2 & \dots & v_1/v_n \\ x_2 & v_2/v_1 & v_2/v_2 & \dots & v_2/v_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_n & v_n/v_1 & v_n/v_2 & \dots & v_n/v_n \end{bmatrix}$$

Ранжування елементів, що аналізуються за допомогою матриці парних порівнянь X , здійснюється за допомогою головних власних векторів, що знаходяться за допомогою обробки відповідних матриць.

Обчислення головного власного вектору W додатної квадратної матриці здійснюється із наступної рівності [3-4]:

$$XW = \lambda_{\max} W,$$

де λ_{\max} – максимальне власне значення матриці X .

Для додатної квадратної матриці X головний власний вектор W , що відповідає максимальному власному λ_{\max} значенню можна обчислити з точністю до постійного множника c за формулою:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \frac{[X]^k}{e^T [X]^k e} = cW,$$

де $e = (1, 1, \dots, 1)$ – n -мірний одиничний вектор-стовпець; $k = 1, 2, \dots$ – показник ступеня; T – символ транспонування; c – константа.

Ітеративний алгоритм обчислення власного вектору за цією формулою зупиняється при досягненні необхідної точності ε (на практиці, можна прийняти $\varepsilon = 0,01$):

$$e^T |W^{(l+1)} - W^{(l)}| \leq \varepsilon,$$

де l – номер ітерації.

Таким чином, елементи знайденого власного вектору можна інтерпретувати як оцінки коефіцієнтів a_{ij} .

Отже, слабкоструктурована задача планування екологічних заходів в регіоні може бути формалізована і описана математичною моделлю з частковою інформацією. За умови, що додаткові заходи не погіршують екологічну ситуацію, побудована модель еквівалентна моделі булевого програмування.

Розв'язання задачі планування - вибору комплексу заходів з найменшими вартісними витратами, що забезпечує відновлення екологічної ситуації, - дозволяє отримати комплекс, що не суперечить інформації, отриманій від експертів, що має мінімальну вартість серед всіх що "не заперечуючих" експертам рішень.

Література

1. Суслов О.П. Оптимальное планирование экологических мероприятий в регионе / О.П. Суслов, А.И. Башта, В.И. Донской // Комплексы социального и территориального планирования в АСПР. Киев, ГлавНИИЦ Госплана УССР, 1990. – С. 93-96.
2. Зуев Ю.А. О приближении частичной булевой функции монотонной булевой функцией / Ю.А. Зуев // ЖВМ и МФ. – 1978. – Т. 18. - № 2. – С.516-519.
3. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. Пер. с англ. Р. Г. Вачнадзе / Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.
4. Андрейчиков А.В. Анализ, синтез, планирование решений в экономике / А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. - М.: Финансы и статистика, 2000. – 368 с.

Рецензент канд. экон. наук, доцент В.Д. Дербенцев