

МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ОБГРУНТУВАННЯ ЧАСТКОВИХ ТА ІНТЕГРАЛЬНИХ КРИТЕРІЇВ ДЛЯ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОГО СКЛАДУ МОБІЛЬНОЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ

В сучасних умовах переходу до ринкової економіки і тотальної екологічної кризи в Україні, коли виникла необхідність у розвитку системи оперативного екологічного моніторингу для дієвого екологічного контролю за техногенною діяльністю та для швидкого реагування на можливі надзвичайні ситуації екологічного характеру, необхідно посилити фактор об'єктивності в оцінці перспектив розвитку системи екологічного моніторингу і, разом з тим, зменшити кількість обмежень при виборі можливих варіантів її розвитку. Одним із елементів системи оперативного екологічного моніторингу є мобільна екологічна лабораторія, яка виступає безпосереднім інструментом для проведення екологічних досліджень впливу техногенних факторів на довкілля на об'єкті моніторингу.

При проектуванні мобільної екологічної лабораторії та на перших етапах її розробки закономірно виникає задача обґрунтування вибору того чи іншого альтернативного варіанта лабораторії. Як правило, при виборі оптимального варіанта для вирішення цієї задачі з точки зору доцільності та ефективності, найчастіше [1]:

1. не враховуються фактори, які, в загальному випадку, є привнесеними ззовні предметної області, але можуть мати негативні наслідки на подальших етапах життєвого циклу технічної системи;
2. не можуть об'єктивно порівнюватися негативні і позитивні значення різних факторів, що призводить до перекосів і появи небажаних аспектів при створенні технічної системи;
3. недооцінюється роль суб'єктивних факторів;
4. не можуть об'єктивно порівнюватися альтернативні варіанти, кожен з яких має як кількісні, так і якісні характеристики.

Огляд сучасних підходів до системного аналізу складних об'єктів і процесів та аналіз математичного опису процедур, що застосовуються при цьому, дозволяють зробити висновок: аналіз і оцінка можливих варіантів мобільних екологічних лабораторій (МЕЛ) повинні бути багатофакторними [6-9].

При оцінці альтернативних варіантів МЕЛ виникає задача розробки часткових та інтегрального критерію для вибору оптимального варіанта МЕЛ. Ця задача полягає у визначенні можливих композицій кількісних і якісних, об'єктивних та суб'єктивних факторів оцінки і розробки методу для визначення такої композиції.

© В.Є. Свідерський, В.А. Слободяник, Ю.І. Гнилицький, 2002

Розглядаючи кожну специфічну характеристику МЕЛ окремо і, застосовуючи математичні методи вибору й обґрунтування рішень в умовах невизначеності, що неминує виникає при багатofакторному аналізі, її оцінку слід проводити за попередньо заданими частковими критеріями.

У цілому ряді публікацій розглядалися підходи, що застосовуються при вирішенні задачі багатокритеріальної оптимізації [1, 2, 3, 4]. Однак питання, пов'язані з вибором факторів і критеріїв для вибору оптимального варіанта мобільної екологічної лабораторії в цих публікаціях не розглядалися. Для Збройних Сил України актуальність задачі розробки МЕЛ визначається як високим ступенем загрози для елементів довкілля факторів військової діяльності, так включенням її до Державної програми реабілітації територій, забруднених унаслідок військової діяльності на 2002-2015 роки.

Розглянемо постановку задачі вибору оптимального варіанта МЕЛ. Будемо вважати, що M — мобільна екологічна лабораторія, в створенні якої існує потреба для системи оперативного екологічного моніторингу. В результаті попереднього аналізу існуючих варіантів МЕЛ, процесів функціонування системи екологічного моніторингу та адаптації МЕЛ під конкретні умови застосування, встановлено, що властивості M оцінюють за множиною критеріїв об'єктивної та суб'єктивної природи

$$J(e) = \{J_1, J_2, \dots, J_n\}, \quad (1)$$

Для визначення оптимального варіанта МЕЛ необхідно встановити узагальнений критерій, по значенню якого буде прийнято рішення щодо вибору альтернативного варіанту і запропонувати процедуру його інтерпретації.

При оцінці альтернативних варіантів МЕЛ враховують технічні, технологічні, організаційні та економічні фактори [5].

Приведемо класифікацію часткових критеріїв, які можна застосувати для вибору оптимального варіанта МЕЛ. Нехай A_1, A_2, \dots, A_m — проектні альтернативні варіанти майбутньої МЕЛ. Кожен з цих варіантів не співпадає з іншими за множиною внутрішніх і зовнішніх характеристик. Вони мають різну організаційно-штатну структуру, елементно-модульну базу, архітектуру інформаційно-обчислювального комплексу, різний склад обладнання для екологічного моніторингу, відрізняються організацією процесу функціонування і мають різну вартість. Альтернативні варіанти МЕЛ мають вектор системних характеристик $\vec{X} = (x_1, x_2, \dots, x_k)$, що включає в себе вибрані для аналізу властивості M як технічної системи, так і її експлуатаційні характеристики. Склад параметрів вектору X однаковий для кожного альтернативного варіанта МЕЛ.

Для оцінки можливих варіантів МЕЛ застосовують критерії, які можна класифікувати наступним чином [1]:

1. Якісні критерії, що вказують на наявність, або відсутність деякої характеристики в альтернативному варіанті МЕЛ:

$$y_l = \chi_{A_q}(x_p) = \begin{cases} 1, & A_q \text{ має властивість } x_p, \\ 0, & \text{в іншому випадку,} \end{cases} \quad (2)$$

$$l = \overline{1, n}, \quad q = \overline{1, m}, \quad p = \overline{1, k}.$$

2. Якісні критерії, що вказують:

- (а) на наявність характеристики;
- (б) на вибір одного із варіантів її реалізації;
- (с) на ефективність кожного варіанта:

$$y_l = w_i \cdot \chi_{x_p}(x_p^i), \quad (3)$$

де w_i – ваговий коефіцієнт способу реалізації характеристики,

$$w_i \in (0, 1), \quad \sum_{i=1}^d w_i = 1, \quad d - \text{кількість способів.}$$

Оскільки вагові коефіцієнти залежать, в загальному випадку, нелінійно від внутрішніх параметрів МЕЛ, то їх можна визначити із системи рівнянь та нерівностей методами математичного програмування.

3. Якісні критерії, що вказують на вибір декількох із багатьох способів реалізації альтернативного варіанта МЕЛ:

$$y_l = \sum_{i \in I} w_i \cdot \chi_{x_p}(x_p^i) \quad (4)$$

де I – множина індексів, $I = 1, 2, \dots, d$. Проблема визначення w , поєднує в собі вирішення задачі математичного програмування і комбінаторний аналіз при рівно ефективних комбінаціях способів реалізації характеристики.

4. Критерії кількісного характеру, значеннями яких є числова міра системних характеристик, наприклад прогнозована рентабельність технічної системи. Оскільки значення критерію є величиною абсолютною і має мінімальну інформативність та характеризується значною ентропією, то використовують відому процедуру нормалізації з метою приведення його до єдиної шкали (відрізку $[0, 1]$). Для цього необхідне знання числових екстремальних значень характеристики. Маємо:

$$y_l : Z \rightarrow [0, 1], \quad (5)$$

де $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_k\}$ — множина внутрішніх параметрів системи.

5. Якісні критерії, що базуються на судженнях експертів, їх досвіді та інтуїції. Найчастіше вони мають прогнозний характер, виходячи із знання процесу функціонування аналогів або досвіду експерта:

$$y_l : [a, b] \rightarrow [0, 1], \quad (6)$$

де a — мінімальне числове значення системної характеристики, b — максимальне, критерій $y_l(x)$ вказує наскільки оптимальним є її значення x .

Для вибору часткових критеріїв альтернативного варіанта МЕЛ, можна застосувати запропоновану система із п'яти критеріїв, тому що вони

мають універсальну множину значень на відрізку [0,1]. На наш погляд, така система критеріїв є досить повною і всі інші можливі частинні критерії з іншою семантичною структурою можуть бути зведені до наведених вище.

Процедура агрегації часткових критеріїв в інтегральний відбувається за умови визначеності їх вагових значень, що в свою чергу є можливим лише в разі ортогональності системних властивостей. Метод ортогоналізації наведений в [4].

У кінцевому рахунку, при системному аналізі всіх характеристик МЕЛ, може бути отримано цілий ряд варіантів, які будуть відрізнятися введеними обмеженнями, а надалі можуть використовуватися для експертної оцінки і пошуку оптимального варіанта МЕЛ. Таким чином, результатом системного аналізу комплексу характеристик МЕЛ буде ранжирування варіантів за значенням інтегрального критерію для прийняття рішення щодо вибору оптимального варіанта МЕЛ при заданих обмеженнях.

Аналіз способів і процедур, що використовуються для виходу зі стану невизначеності при вирішенні багатокритеріальної задачі, дає можливість вибрати ті з них, якими можна було б скористатися при системному аналізі різних альтернативних варіантів МЕЛ. До числа цих способів можна віднести [6-9]:

- спосіб вибору з використанням цільової функції;
- спосіб вибору з використанням функції переваги при згортанні багатокритеріальної задачі до однокритеріальної, що ґрунтується на згортанні множини критеріїв в один;
- спосіб вибору з використанням функції переваги й виділення пріоритетного критерію;
- спосіб вибору з вилученням невідоміючих альтернатив і використання множини Паретто.

Задача оцінки та вибору оптимального варіанта МЕЛ в умовах невизначеності, що розв'язується методами системного аналізу, є багатокритеріальною. Але, як правило, така задача набуває практичного сенсу лише в тому випадку, коли використовується метод вибору рішення, при якому багатокритеріальна задача зводиться до однокритеріальної [6].

Узагальнена цільова функція є інструментом для вирішення невизначеності і зведення багатокритеріальної задачі до однокритеріальної.

Вид цієї функції визначається внеском кожного складового часткового критерію в інтегральний комплексний критерій. При зведенні багатокритеріальних задач до однокритеріальних, коли складові критерії є різноваговими, як правило, використовуються адитивні і мультиплікативні функції [6]. Керуючись цим підходом, узагальнена адитивна цільова функція може бути представлена у вигляді:

$$J_{\Sigma}(e) = \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i}{s_i} J_i(e_i) \quad (7)$$

У цій формулі коефіцієнти α_i відображають відносний внесок складових критеріїв в інтегральний, а коефіцієнти s_i забезпечують оцінку інформативності складових критеріїв. Вагові коефіцієнти α_i і s_i , як правило, можуть визначатися експертним шляхом.

Як правило, для формування складових часткових критеріїв проводять аналіз вимог до альтернативних варіантів МЕЛ. Розглянемо вимоги до МЕЛ [3]:

1. Мобільність - швидка доставка необхідного обладнання до об'єктів моніторингу.
2. Гнучкість - комплектування лабораторії функціонально-необхідним обладнанням, яке дозволяє провести всі необхідні виміри для визначення екологічної ситуації на об'єкті моніторингу.
3. Комплексність - комплектування лабораторії таким складом контрольно-вимірювальних приладів моніторингу, які дозволяють провести комплексне дослідження всіх складників навколишнього середовища на об'єкті моніторингу.
4. Модульність - можливість швидкої заміни комплекту приладів моніторингу в залежності від поставленої задачі.
5. Необхідність комплексу навігаційного обладнання, яке дозволить проводити просторово-часову прив'язку вимірювань.
6. Необхідність засобів оперативного зв'язку з будь-якого району місцевості, де проводиться моніторинг.
7. Необхідність врахування метеорологічних параметрів при проведенні екологічного моніторингу.
8. Єдиний інформаційно-аналітичний комплекс для всіх приладів моніторингу, який вимагає єдиного протоколу обміну між приладами моніторингу та обчислювальною машиною.
9. Гнучка система електроживлення для забезпечення обладнання лабораторії всіма необхідними параметрами якості електроенергії та необхідною потужністю.

Виходячи з вимог, які ми сформуваємо до МЕЛ, розкриємо фактори, що є визначальними для складових часткових критеріїв, що ввійдуть до інтегрального критерію оцінки альтернативних варіантів МЕЛ:

1. Вибір засобу доставки для МЕЛ:



2. Забезпечення гнучкості комплектування МЕЛ:



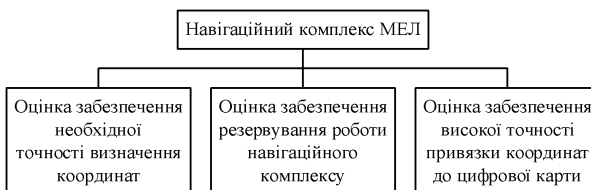
3. Комплексність комплектування МЕЛ:



4. Забезпечення модульності комплектування МЕЛ:



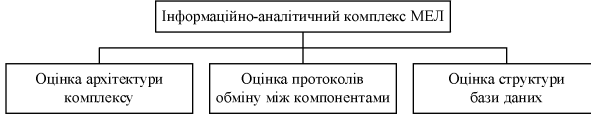
5. Вибір комплексу навігаційного обладнання МЕЛ:



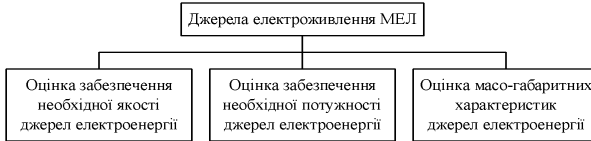
6. Вибір комплексу засобів оперативного зв'язку.



7. Вибір інформаційно-аналітичного комплексу:



8. Вибір джерел електроживлення:



Формування інтегрального критерію, який утворюється із комбінації часткових критеріїв є зручним підходом для оцінки альтернативних варіантів МЕЛ. Але виявлення складних залежностей з використанням формалізованих процедур дуже часто є неможливим. Так при формуванні інтегрального критерію необхідно вирішувати такі задачі:

1. Як вибрати найкращу альтернативу, якщо інтегральний критерій є нелінійною, а найчастіше поліекстремальною функцією?
2. Якщо в інтегральний критерій включено надлишкову кількість членів, то чи не викличе це помилкового визначення оптимуму критерію, де домінуючим є надлишковий критерій?

Для вирішення цих проблем існує декілька підходів. Згідно з одним із них, в загальному випадку задачу проектування МЕЛ інтерпретують, як задачу нелінійного програмування. Остання формулюється в такий спосіб [5, 6]: потрібно знайти таку сукупність параметрів $\vec{X} (x_1, x_2, \dots, x_k)$, що забезпечують екстремальне (для більшості задач – мінімальне) значення цільової функції $f(x_1, x_2, \dots, x_k)$ при наступних обмеженнях:

$$g_1(x_k) \geq 0; g_2(x_k) \geq 0; \dots g_m(x_k) \geq 0; \quad (8)$$

$$g_{m+1}(x_k) = 0; g_{m+2}(x_k) = 0; \dots g_{m+n}(x_k) = 0. \quad (9)$$

При цьому, з високою ефективністю вирішується задача пошуку такої комбінації параметрів МЕЛ, при яких інтегральний критерій якості (цільова функція) має найкраще значення з усіх можливих.

У залежності від наявності обмежень розрізняють [6]:

- класичні задачі оптимізації без обмежень ($m = n = 0$);
- класичні задачі оптимізації з обмеженнями ($m \neq 0, n = 0$);
- некласичні задачі оптимізації ($m \neq 0, n \neq 0$).

В зв'язку з тим, що загальне число параметрів вектору \vec{X} дорівнює k , пошук екстремуму виконується в k -мірному просторі. Сукупність точок k -мірного простору, що задовольняє нерівностям (8), належить деякій області, що обмежена поверхнею S . Кожне з рівнянь (9) описує в k -мірному просторі деяку поверхню, а вся сукупність рівнянь (9) описує лінію L перетину n поверхонь.

Отже, спільний розгляд обмежень (1) і (2) дозволяє виділити тільки ті точки лінії L , які розташовуються усередині області, що обмежена поверхнею S k -мірного простору й утворюють оптимальний варіант МЕЛІ.

Процес формування інтегрального критерію може базуватися на перетині областей штучного інтелекту, статистики і теорії баз даних, який позначають як KDD (knowledge discovery in databases - виявлення знань в базах даних) [9]. Технологія data mining (добування знань із даних), на сьогоднішній день робить в Україні перші важкі кроки. Однак, використовуючи композицію детермінованого і імовірнісного підходів, а також методів теорії невизначеності, можна одержати інтегральний критерій, в якому будуть враховані статистичні дані (минуле), параметри та характеристики реального стану предметної області (теперішнє) та результати прогнозування (майбутнє). Таким чином, останнім часом провідне місце починають займати методи, що належать до неklasичної парадигми і наслідують еволюційні процеси в природі і прийоми мислення людини, чerez які вона пізнає світ.

Література

1. Снитюк В.Є. Задача выбора оптимальной альтернативы в условиях композиционной неопределенности.
2. Тимченко А.А., Родионов А.А. Основы информатики системного проектирования объектов новой техники. - К.: Наук, думка, 1991. - 152 с.
3. Матвеевский С.Ф. Основы системного проектирования комплексов летательных аппаратов. - М.: Машиностроение, 1987. - 239 с.
4. Молчанов А.А. Моделирование и проектирование сложных систем. К.: Выща школа, 1988. - 359 с.
5. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ. - М.: Высшая школа, 1989, 367 с.
6. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. -М.: Наука, 1981, 487 с.
7. Мишук Э., Мюллер П. Методы принятия технических решений. - М.: Мир, 1990.
8. Кини Р. Размещение энергетических объектов: выбор решений / Пер. с англ. - М.: Энергоатомиздат, 1983.
9. Gurney K. Computers and Symbols versus Nets and Neurons. - Uxbridge: UCL Press Limited, 156 p.

Получено: 24.11.2002