

ГЕОЕКОЛОГІЯ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

УДК 519.876.5.338.658

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕКСПЕРТНОЇ ОЦІНКИ СКЛАДНИХ СИСТЕМ З НЕФОРМАЛЬНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

*В.Д. Воробійов, докт. техн. наук, О.М. Масюкевич, канд. фіз.-мат. наук,
В.Б. Руринкевич, інж. (ННДІОП)*

Описана математическая модель экспертной оценки сложной системы, характеризующейся формальными и неформальными параметрами. Изложена новая методика определения оптимального количества экспертов. Результаты расчета по данной методике рассмотрены на параметрах нормативных документов.

При аналізі великих і складних систем, що характеризуються сукупністю формальних і неформальних параметрів (наприклад, нормативно-методична, метрологічна, законодавча бази даних), виникає необхідність прийняття рішення відносно можливості їхнього використання на практиці. У цих випадках звичайно використовуються експертні оцінки, побудовані на здібностях особистості (експерта) видавати корисну інформацію в умовах невизначеності з урахуванням набутого досвіду, знань і компетентності [1-3]. В процесі експертної оцінки кожен експерт приймає рішення, максимально корисне щодо вибору параметрів з їхньої множини Π . Оскільки корисність є суб'єктивна функція, то такий вибір у різних експертів різний. Математично цей процес можна представити множиною параметрів (факторів, гіпотез, альтернатив) і експертів, відповідно описуваних рівняннями

$$\Pi = \{\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n\}; \quad (1)$$

$$H = \{H_1, H_2, \dots, H_n\}. \quad (2)$$

Завдання полягає в одержанні рішення, що має силу для множини H на основі експертів H_1, H_2, \dots, H_n . При наявності в системі кількох параметрів групове рішення полягає у виборі лише одного параметра, правомірність подальшого використання якого обумовлюється характером і умовами постановки задачі.

Вибір раціонального параметра системи з кількох йому відповідних здійснюється шляхом віддання переваги одному параметру над іншими. Тоді таку перевагу параметра Π_i над параметром Π_j , віддану експертом H_k , можна записати у вигляді (Π_i, P, Π_j) , тобто для H_k параметр Π_i є кращим, ніж Π_j . Якщо вибір здійснюється з числа параметрів більше двох (Π_1, Π_2, \dots) , то можна

вважати, що стосовно інших параметрів N_i є байдужим, тобто (Π, I, Π_i) і т. д. Таким чином, вводяться два основних відношення з теорії групових рішень: відношення переваги і байдужості. Перше відношення транзитивне:

$$\left[(\Pi, P, \Pi_i) \& (\Pi, P, \Pi_i) \right] \Rightarrow (\Pi, P, \Pi_i), \quad (3)$$

а друге – транзитивне

$$\left[(\Pi, I, \Pi_i) \& (\Pi, I, \Pi_i) \right] \Rightarrow (\Pi, I, \Pi_i) \quad (4)$$

і симетричне:

$$(\Pi, I, \Pi_i) \Leftrightarrow (\Pi, I, \Pi_i). \quad (5)$$

Іноді використовується диз'юнкція двох відносин, що можна записати як

$$(\Pi, \delta \Pi_i) = (\Pi, P \Pi_i) \vee (\Pi, I, \Pi_i). \quad (6)$$

Організація експертизи вимагає розв'язання ряду проблем більшої чи меншої складності. Одні носять чисто технічний характер, інші визначаються умовами конкретної експертизи. Такі умови виникають в одних випадках і не виникають в інших, тобто не є достатньо загальними. Але одна проблема – формування експертної групи – має принциповий і загальний для всіх експертиз характер. Різні дослідники пропонують різні підходи до проблеми формування групи експертів. При цьому всі вони відзначають, що ця проблема обумовлена психологічними і соціологічними факторами і є найменш розробленою [2, 3].

Формування групи експертів – це вибір з деякої множини фахівців, найбільш компетентних у колі розглянутих питань. При доборі фахівців у експертну групу використовується, як правило, метод «снігової грудки» [2, 3]. Метод базується на тому, що організатори експертизи заздалегідь знають одну або кілька осіб, які є компетентними фахівцями в розглянутій галузі. Кожного такого фахівця просять назвати відомих йому фахівців з цієї проблеми. Нових названих осіб, у свою чергу, просять зробити те ж саме і т. д. Цей процес закінчується тоді, коли список не може бути поповнений жодною новою особою. Формально цей процес описується в такий спосіб [3].

Нехай M_0 – початкова кількість відомих заздалегідь осіб. Перша з них назвала $m_1(1)$ нових осіб (1 позначає першу особу і перший тур опитування), а кандидатів у групу стало $M_0 + m_1(1)$. Після опитування k -ої особи в першому турі число кандидатів дорівнюватиме

$$M_0^k = M_0 + \sum_{j=1}^k m_1(j), \quad (7)$$

а в підсумку

$$M_0^k = M_0 + M_1, \quad (8)$$

де M_1 – число нових кандидатів, названих початковими особами, яке визначається за формулою

$$M_1 = \sum_{j=1}^{M_1} m_1(j). \quad (9)$$

Після r -го туру число кандидатів дорівнюватиме

$$M_r^0 = M_1 = \sum_{i=0}^r \sum_{j=1}^{M_{i-1}} m_1(j). \quad (10)$$

Такий добір кандидатів в експертну групу вимагає великих затрат часу і засобів на проведення опитування, особливо тоді, коли фахівці територіально розкидані і зв'язок з ними не встановлюється миттєво. Крім того, можливий випадок, коли на кожному турі з'являється лише одна нова особа і це продовжується багато турів підряд.

В працях [4–5] показано, що для одержання достовірної оцінки слід підбирати групи рівноцінних експертів, для яких загальним є компетентність

$$R = \frac{N_c}{N}, \quad (11)$$

де N_c – число параметрів, яким експерт дав найвищу оцінку і які згодом виявились вірними; N – загальне число оцінюваних параметрів.

Міра близькості думок двох експертів визначається за формулою

$$P_{ij} = 2m_{ij} / \left[t_i \log_2 \left(1 + \frac{t_j}{t_i} \right) + t_j \log_2 \left(1 + \frac{t_i}{t_j} \right) \right], \quad (12)$$

де m_{ij} – кількість параметрів, однаково оцінюваних i -м і j -м фахівцями; t_i і t_j – кількість параметрів, оцінюваних i -м і j -м експертами.

Коефіцієнт конкордації дорівнює

$$W = \sum_{i=1}^N \left\{ \sum_{j=1}^M (x_{ij}) - \frac{1}{2} M(M+1) \right\}^2 / \frac{1}{12} M^2 (N^3 - N). \quad (13)$$

де M – число фахівців; x_{ij} – оцінка i -го параметра, зроблена j -м експертом.

При цьому, як відзначено в [1–5], експертна оцінка буде достовірною і точною в тому випадку, коли значення R і P_{ij} знаходяться в межах 0,8–1, а W – у межах 0,9–1.

Важливим завданням при формуванні групи експертів є визначення компетентності фахівців [2]. Існує два підходи до розв'язання цього завдання. Перший – апріорний – складається з оцінки компетентності до початку експертизи і спрямований безпосередньо на добір експертів і формування з них групи. У цьому випадку компетентність може визначатися за кількома параметрами (вік, число публікацій, стаж роботи, учений ступінь тощо) або шляхом проведення спеціальних тестів, оцінки яких відомі дослідницькій групі, але невідомі випробуванним фахівцям. Другий підхід – апостеріорний – полягає

у визначенні компетентності експертів за результатами експертизи, з огляду на їхню компетентність при обробці даних опитування.

На основі теорії дослідження операцій залежність достовірності експертизи від числа експертів можна подати як [6, 7]

$$P = f(e, N),$$

де P – цільова функція (параметр); $N \in G_N$ – число експертів; e – спосіб дії (виставляння експертних оцінок), що забезпечує максимальне (мінімальне) значення P , залежить від N . Стосовно ж залежності $f(e, N) \rightarrow \max$ можна визначити вектор e лише як функцію параметра N , тобто $e = e(N)$. У реальних ситуаціях інформація про параметр N звичайно має вигляд $N \in G_N$ (де G_N – деяка множина експертів). На основі принципу гарантованого результату для будь-якого e

$$\min_{N \in G_N} f(e, N) \leq f(e, N).$$

Тоді для будь-якого $N \in G_N$:

$$f^* = \max_e \min_{N \in G_N} f(e, N) \leq \max_e f(e, N). \quad (14)$$

Останній вираз визначає максимальне (якому віддасться перевага) значення параметра при мінімальному числі експертів у групі, але такому, що забезпечує достовірність і точність оцінок. Розв'язати таку задачу практично неможливо, тому що цей процес розширюється (експертна оцінка тим точніша, чим більше експертів). Крім того, дуже важко підібрати велику групу (наприклад, більше 10) рівноцінних експертів. З іншого боку, якщо велика група експертів оцінює кілька параметрів (5–10), то дослідницькій групі треба буде обробити велику кількість інформації. Якщо аналіз експертизи показав, що коефіцієнт конкордації [3] високий (95 %), то це означає, що більшість експертів виставляють однакові оцінки. Тому після розгляду деякої кількості оцінок ясно, яким буде загальне рішення, а думки наступних експертів лише підтверджують це. Отже, можна обмежитися певним числом експертів у групі, яке б забезпечувало високий коефіцієнт конкордації. З [4] випливає, що при оцінюванні параметра по двобальної системі потрібно не менше трьох експертів. Стосовно ж оптимального числа експертів у групі, що виражає думку більшості, у науковій літературі рекомендацій немає [8].

Виходячи з цього, пропонується проводити добір групи експертів таким чином. Спочатку методом “снігової грудки” виявляють усіх фахівців, компетентних у питаннях, що є предметом даної експертизи. Якщо метою експертної оцінки є вибір параметра з множини параметрів, то коефіцієнт конкордації після громіздких обчислень можна перетворити в рівняння, за допомогою якого можна визначити число експертів:

$$M^2 - 2M - 3 - \frac{1}{3}N(N^2 - 1) = 0. \quad (15)$$

Задаючись яким-небудь значенням W з області $0,9-1$ і значочи N для даної експертизи, можна одержати мінімальне число експертів у групі, яке забезпечить задане значення W .

У [3] наведено випадок, коли при здійсненні експертної оцінки в НДІ методом «снігової грудки» виявлено 49 фахівців. З формул (12) і (13) випливає, що якщо підбирати компетентних фахівців, думки яких не дуже розрізняються між собою, то для одержання достовірної і точної експертної оцінки досить невеликої кількості експертів.

Так, наприклад, для коефіцієнта конкордації $0,9$ при розгляді чотирьох параметрів згідно з (15) потрібно чотири експерти, а при розгляді семи параметрів – п'ять. Крім того, з формули (12) випливає, що при $P_0 = 0,8$ у випадку розгляду чотирьох параметрів необхідно, щоб між парами збігалися оцінки не менш як трьох параметрів, а при розгляді семи параметрів потрібен збіг оцінок не менш як п'яти параметрів.

Після експертизи проводиться аналіз отриманих результатів. За формулами (2) і (3) визначається компетентність фахівців і близькість їхніх думок. Якщо P_0 не попадає в рекомендовану область $(0,8-1)$, то це означає, що коефіцієнт W повинен бути більш наближеним до одиниці, тобто дорівнювати не $0,9$, а $0,95$. Отже, варто взяти іншу групу фахівців з осіб, визначених методом «снігової грудки», і провести повторну експертизу. Такі ітераційні процеси проводяться доти, поки W і P_0 не будуть попадати в рекомендовані інтервали одночасно.

Ця методика одержання експертної оцінки була апробована при визначенні відповідності прийнятих в Україні термінів по засобах індивідуального захисту органів дихання європейському стандарту EN 135 «Засоби індивідуального захисту органів дихання. Перелік рівнозначних термінів». Даний стандарт містить близько 450 гармонізованих термінів (параметрів) на трьох офіційних мовах Європейського Союзу. Розглянутий для порівняння масив параметрів, прийнятих в Україні, нараховує близько 1500 термінів. Нормативно-технічна література в даній галузі була проаналізована експертною групою лабораторії засобів захисту працівників Національного НДІ охорони праці на предмет виявлення термінів і їхніх синонімів, що належать до розглянутої галузі. Групи відібраних термінів, сформовані за ступенем подібності визначень, містили від 1 до 5 параметрів без урахування еталонних термінів європейського стандарту. Було попередньо задано коефіцієнт конкордації $W = 0,9$ і коефіцієнт близькості думок $P_0 = 0,8$. Враховуючи, що середня кількість параметрів у групі для подальшої експертної оцінки дорівнювала 5, групою експертів була прийнята кількість рішень N про відповідність або невідповідність того чи іншого терміна з порівнюваної групи еталонному терміну (термінам), що дорівнювала кількості самих груп n . Розрахунок кількості експертів, виходячи з заданих умов (W, P_0, N, n) показав, що мінімальна група експертів повинна складатися з чотирьох чоловік.

Результат експертизи вважається остаточною, якщо коефіцієнт конкордації W і коефіцієнт близькості думок експертів P_b , визначені після експертизи, попадають в рекомендований інтервал.

Застосування запропонованої методики визначення групи експертів дозволяє спростити розв'язання задачі за рахунок оптимізації кількості експертів і процедури самої експертної оцінки.

1. *Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г.* Математико-статистические методы экспертных оценок. – М.: Статистика, 1980. – 263 с.

2. *Шмерлинг Д.С., Дубровский С.А. и др.* Экспертные оценки. Методы и применение (обзор) // Систематические методы анализа экспертных оценок. – М.: Наука. – 1977. – С. 290–386.

3. *Петровский А.М., Панкова Л.А. др.* Организация экспертизы и анализ экспертной информации. – М.: Наука, 1984. – 120 с.

4. *Helemer O.* The Systematic Use of Expert Judgement on Operation Research Proceeding of 3-d IFORS Conference. – Oslo. – 1963. – P. 12–13.

5. *Воробйов В.Д., Масюкевич О.М., Руринкевич В.Б.* Гармонізація нормативних документів по засобах індивідуального захисту працівників із застосуванням системного аналізу // Вісник Нац. техн. університету України "Київський політехнічний інститут". Серія "Гірництво": 36. наук. праць. – К.: НТУУ "КПІ"; ЗАТ "Техновібух". – 2000. – Вип. 2. – С. 104–111.

6. *Акодр Р., Сасиени М.* Основы исследования операций. – М.: Мир, 1971. – 263 с.

7. *Моисеев Н.Н.* Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981. – 487 с.

8. *Ковалев Г.П.* Установление факторов управления качеством дробления горных пород взрывом // Механика и разрушение горных пород взрывом. – К.: Наук. думка. – 1977. – С. 69–74.

УДК 614.876.001.5

РОЗРОБЛЕННЯ КРИТЕРІЇВ ВИБОРУ ТЕПЛОЗАХИСНОГО МАТЕРІАЛУ ДЛЯ СПЕЦОДЯГУ

С.І. Азаров, канд. техн. наук, О.В. Бабич, асп. (ІЯД НАН України)

Рассмотрена многокритериальная задача по выбору материала для теплозащитного костюма на основе факторного метода. Показаны пути практической реализации предложенного метода.

Необхідність захисту робітників підприємств металургійної, хімічної та нафтогазової галузей, працівників теплових електростанцій і котельень, а також бійців аварійно-рятувальних команд, пожежних та гірничорятувальних підро-