

УДК: 621.523

Л. М. ТРАСКОВЕЦЬКА, кандидат фізико-математичних наук, доцент, професор кафедри загальнонаукових та інженерних дисциплін Національної академії Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького, м. Хмельницький

Л. В. БОРОВИК, кандидат психологічних наук, доцент, доцент кафедри загальнонаукових та інженерних дисциплін Національної академії Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького, м. Хмельницький

О. В. БОРОВИК, доктор технічних наук, професор, начальник кафедри загальнонаукових та інженерних дисциплін Національної академії Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького, м. Хмельницький

АВТОМАТИЗАЦІЯ МАТЕМАТИЧНИХ МЕТОДІВ ЕКСПЕРТНИХ ОЦІНОК

У роботі охарактеризовано метод ранжування і оцінка одержаної інформації, побудований алгоритм та програма визначення факторів, які впливають на досліджуваний об'єкт і перевірку узгодженості та достовірності експертних оцінок. У рамках дослідження на прикладі детально проаналізована методика роботи з програмою.

Ключові слова: *ранжування, коефіцієнт конкордації, алгоритм, експертні оцінки, стандартизована таблиця рангів.*

Постановка проблеми у загальному вигляді. Сучасне суспільство набуває великих змін у всіх сферах життя та народного господарства. Ці зміни зумовлюють необхідність швидко приймати якісні та ефективні рішення. Проблема полягає в тому, що дуже часто рішення необхідно приймати в умовах невизначеності. Досить часто виникають проблемні задачі, розв'язок яких не може бути отриманий на базі точних розрахунків у зв'язку з багатогранністю факторів або у зв'язку з тим, що деякі фактори не піддаються вимірюванню.

Необхідність розв'язати такі протиріччя призвела до переоцінки значень формального досліду і до розуміння того, що навіть за відсутності суворих теоретичних обґрунтувань рівень невизначеності можна знизити за рахунок розумних тверджень фахівців. Слід урахувати властивість людини приймати раціональне рішення в умовах неможливості їх повної реалізації. Досвід, розуміння проблеми, відчуття перспективи й інтуїція допомагають фахівцю в ситуації невизначеності оцінити значимість альтернативних результатів, вибрати найбільш вагомий результат і кращий критерій, а, отже, і найбільш раціональне рішення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми та на які опираються автори. Аналіз літератури, що стосується питань застосування математико-статистичних методів, зокрема робіт [1–3], дозволив зробити висновок, що навіть прості статистичні методи в поєднанні з інформацією, одержаною від фахівців, часто приводять до більш кращого результату, ніж точні розрахунки, орієнтовані на середні показники і екстраполяцію існуючих тенденцій. Використання інформації від фахівців буде особливо плідним, якщо для її обробки і аналізу застосувати прийоми і математичні методи, які отримали назву методів експертних оцінок. Але слід відмітити, що реалізація цього методу передбачає велику кількість роботи, розрахунків і затраченого часу. В епоху стрімкого розвитку сучасних інформаційних технологій безумовно виникає необхідність в оптимізації процесу впровадження експертних оцінок.

Саме тому актуальності набуває завдання автоматизації математико-статистичних методів обробки інформації, отриманої від експертів. Це і визначає мету даної статті.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для розв'язання визначеного завдання вбачається за доцільне охарактеризувати метод ранжування і оцінку одержаної інформації та побудувати алгоритм визна-

чення факторів, які впливають на досліджуваний об'єкт, та перевірки узгодженості і достовірності експертних оцінок. Даний алгоритм буде використано для побудови відповідного програмного забезпечення.

1. Ранжування і оцінка

При розв'язуванні багатьох практичних задач часто виявляється, що фактори, які визначають кінцеві результати, не піддаються безпосередньому вимірюванню. Розташування цих факторів у порядку зростання (спадання) називається ранжуванням. Ранжування дозволяє вибрати із сукупності факторів найбільш значущий.

При ранжуванні експерт-фахівець (користуючись загальноприйнятими правилами) повинен розташувати фактори в порядку, який представляється йому найбільш раціональним, і приписати кожному з них числа натурального ряду – ранги. При цьому ранг 1 отримує найбільш вагомий фактор, а ранг N – найменш вагомий.

Отже, порядкова шкала отриманих результатів ранжування повинна задовольняти умову рівності числа рангів N числу ранжованих факторів n .

Буває так, що експерт не в змозі вказати порядок слідування для двох або декількох факторів або він присвоює різним факторам один і той же ранг, і в результаті число рангів N виявляється не рівним числу факторів n . У таких випадках факторам приписують так звані стандартизовані ранги. З цією метою загальне число стандартизованих рангів ставлять рівним n , а факторам, які мають однакові ранги, присвоюють середні суми місць, поділених між собою факторами, що мають однакові ранги.

Нехай, наприклад, шести факторам присвоєні такі ранги

i	1	2	3	4	5	6
X_i	2	3	2	2	1	3

Тоді факторам, 1, 3 і 4, які розділили між собою друге, третє і четверте місця, приписується стандартизований ранг $S = \frac{2+3+4}{3} = 3$, а факто-

рам 2 і 6, що розділили між собою п'яте і шосте місце, приписується стандартизований ранг $S = \frac{5+6}{2} = 5,5$. У результаті отримуємо таке ранжування:

i	1	2	3	4	5	6
X_i	3	5,5	3	3	1	5,5

Таким чином, сума рангів S_N , отриманих у результаті ранжування n факторів, буде дорівнювати сумі n чисел натурального ряду, тобто

$$S_N = \sum_{i=1}^n x_i = \frac{n(n+1)}{2}.$$

Коли ранжування проводиться декількома (m) експертами, спочатку для кожного фактора обраховують суму рангів

$$S_{ij} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij},$$

отриману від усіх експертів, а потім, виходячи із цієї величини, встановлюють результуючий ранг для кожного фактора. Найвищий (перший ранг) присвоюють фактору, який отримав найменшу суму рангів, і, навпаки, фактору, який отримав найбільшу суму рангів, присвоюють низький ранг. Останні фактори впорядковують відповідно до значень суми рангів відносно фактора, що отримав перший ранг.

Точність і надійність процедури ранжування значною мірою залежить від кількості факторів. У принципі чим факторів менше, тим вища їх “розрізняючість” з точки зору експерта, а значить більш надійно можна встановити ранг фактора. У будь-якому випадку кількість ранжованих факторів n не повинна бути більше 20, а найбільш надійна ця процедура, коли $n \leq 10$.

2. Побудова алгоритму перевірки узгодженості і достовірності експертних оцінок

Групова оцінка може вважатись достатньо надійною тільки при умові узгодженості відповідей фахівців. Тому статистична обробка інформації, отримана від експертів, повинна включати в себе оцінку ступеня узгодженості думок експертів і виявляти причини їх неоднорідності.

При аналізі оцінок, отриманих від експертів, часто виникає необхідність виявити конкордацію – узгодженість їх думок по декількох факторах, які впливають на один кінцевий результат (якість).

Узгодженість думок експертів оцінюється за допомогою коефіцієнта конкордації W , тобто загального коефіцієнта рангової кореляції для групи, що складається із m експертів.

Для розрахунку значення коефіцієнта конкордації спочатку знаходиться сума рангів по кожному фактору, отримана від усіх експертів $\sum_{i=1}^m x_{ij}$, а потім – різниця між цією сумою і середньою сумою рангів за формулою

$$\Delta_i = \sum_{i=1}^m x_{ij} - \bar{X},$$

$$\text{де } \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}}{n}.$$

Тут a_{ij} – середнє значення для суми рангів рядка

$$a_{ij} = \frac{n(n+1)}{2}.$$

Далі розраховується сума квадратів різниць (відхилень) S за формулою

$$S = \sum_{j=1}^n \left(\sum_{i=1}^m x_{ij} - \bar{X} \right)^2 \quad (1)$$

Очевидно, що величина S має максимальне значення у випадку, коли всі експерти дають однакові оцінки. Можна показати, що сумарне квадратичне відхилення від їх середнього значення для сумарних рангів факторів при найкращій узгодженості буде дорівнювати $S_{\max} = \frac{1}{2}nm^2(n^2 - 1)$.

Виходячи із цього, коефіцієнт конкордації W розглядається як відношення фактично отриманої величини S до її максимального значення для даної групи експертів m і числа факторів n , тобто

$$W = \frac{S}{S_{\max}}.$$

Зрозуміло, що коефіцієнт конкордації може змінюватись від 0 до 1 $W \in [0, 1]$, причому його рівність одиниці означає, що всі експерти дали однакові оцінки з даної ознаки, а рівність нулю означає, що зв'язку між оцінками, отриманими від різних експертів, не існує.

Якщо довільний експерт не може встановити рангову відмінність між декількома суміжними факторами і присвоює їм однакові ранги, розрахунок коефіцієнта конкордації W проводиться за формулою

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2(n^3 - n) - 12 \cdot m \sum_{i=1}^m T_i}, \quad (2)$$

де $T_i = \frac{1}{12} \sum_{t_i} (t_i^3 - t_i)$, а t_i - число однакових рангів у i -му рядку.

Якщо зв'язних рангів немає, то розрахунок коефіцієнта конкордації W проводиться за формулою

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2(n^3 - n)}. \quad (3)$$

Коефіцієнт конкордації, отриманий таким способом, є випадковою величиною, тому однією із важливих задач є визначення його надійності. Якщо число факторів $n > 7$, то оцінка значущості коефіцієнта конкордації може бути проведена за критерієм Пірсона χ^2 . Величина $Wm(n-1)$ за наявності зв'язних рангів з $\nu = n - 1$ ступенями вільності має χ^2 -розподіл:

$$\chi^2 = \frac{12 \cdot S}{mn(n+1) - \frac{12}{n-1} \sum_{i=1}^m T_i}. \quad (4)$$

Для оцінки значущості коефіцієнта конкордації необхідно і достатньо, щоб знайдене χ^2 було більше табличного χ_{tab}^2 . Як правило, довірча ймовірність у таких випадках приймається рівною 0,95–0,99.

У ситуації, коли оцінюється більше число факторів ($n > 7$), крім оцінки загальної узгодженості експертів за всіма факторами, цікаво з'ясувати питання про ступінь узгодженості за кожним фактором у межах однієї характеристики, що дозволить виявити, наприклад, фактори, найбільш важливі з точки зору експертів. З цією метою потрібно оцінити декілька статистичних показників, а саме:

- а) дисперсію оцінок експертів за кожним i -м фактором

$$D_j = \frac{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}{m-1}, \quad (5)$$

$$\text{де } \bar{x}_j = \frac{\sum_{i=1}^m x_{ij}}{m};$$

б) середнє квадратичне відхилення оцінок експертів з кожним j -м фактором

$$\sigma_j = \sqrt{D_j}; \quad (6)$$

в) варіацію оцінок експертів за кожним i -м фактором

$$V_j = \frac{\sigma}{\bar{x}_j} \cdot 100 \% . \quad (7)$$

Отже, на основі наведених теоретичних положень можна скласти такий алгоритм обробки матеріалів анкет експертів:

1. З'ясувати кількість експертів, кількість факторів і максимальну кількість балів, яка присвоювалась факторам.
2. Заповнити таблицю згідно з анкетними даними.
3. Утворити стандартизовану таблицю рангів.
4. Відсортувати фактори за їх впливом на досліджуваний об'єкт.
5. Обчислити D_j , σ_j , V_j за формулами (5–7).
6. Якщо ранги зв'язні, то коефіцієнт конкордації W обчислити за формулою (2), якщо зв'язних рангів немає, то – за формулою (3).
7. Провести перевірку значущості коефіцієнта конкордації за формулою (4).

Використання сучасних інформаційних технологій дозволяє автоматизувати цей алгоритм та спростити процедуру обробки експертних оцінок. На основі побудованого алгоритму нами була створена програма, роботу якої можна проілюструвати на такому прикладі.

Приклад. Для проведення професійно-психологічного експерименту було залучено п'ять офіцерів одного прикордонного загону. Анкетування проводилось згідно із заздалегідь розробленим планом і було використане для вивчення індивідуальних думок та оцінок військовослужбовців щодо факторів, які спроможні впливати на їх психологічний стан, рівень

особистої психологічної підготовки, самоконтроль та саморегуляцію психологічного стану. Анкета складалась із 10 факторів, які оцінювались офіцерами за десятибальною шкалою, а саме:

- фактор 1 – витривалість;
- фактор 2 – локус контролю (міра активності);
- фактор 3 – долання резистенції (труднощів, депресії);
- фактор 4 – самооцінка;
- фактор 5 – тривожність;
- фактор 6 – інтелектуальна здібність;
- фактор 7 – професійні перевантаження;
- фактор 8 – дефіцит часу;
- фактор 9 – участь у прийнятті рішень;
- фактор 10 – самостійність у професійній діяльності.

Значимість факторів професійного вигорання підтверджена групою експертів, які залучались на підготовчому етапі проведення анкетування. Офіцерам-експертам було запропоновано оцінити ці фактори за 10-бальною шкалою. Результати опитування наведені у табл. 1 і характеризують бали, виставлені експертами кожному фактору.

Таблиця 1

Результати опитування експертів

Експерти	Фактори									
	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4	Ф5	Ф6	Ф7	Ф8	Ф9	Ф10
1	9	9	9	8	7	7	8	6	4	10
2	9	9	7	7	7	8	6	7	6	8
3	10	10	9	9	5	5	5	4	4	10
4	8	8	8	6	6	5	6	5	6	9
5	9	10	10	6	8	7	6	6	9	9

Дані, наведені у табл. 1, були опрацьовані за допомогою розробленої нами програми, написаної на об'єктно-орієнтованій мові програмування C# Visual Studio 2008, з використанням платформи . Net 2.0 – 3.5. Фрагмент коду зображено на рис. 1.

Після запуску програми користувач вводить усі вхідні дані: кількість експертів – 5, кількість факторів – 10 та максимальний бал – 10, після чого натискає на кнопку “Створити таблицю” і формує таблицю. Як тільки таблиця вихідних даних заповнена, користувачеві потрібно натиснути на кнопку “Обчислити стандартизований ранг”. У головному вікні програми

висвічується стандартизована таблиця рангів і всі необхідні параметри (рис. 2):

1. Результуючі ранги залежно від зайнятого місця кожним фактором.
2. Підрахований коефіцієнт варіації для кожного рангу.
3. Для всієї таблиці обчислений коефіцієнт конкордації $W = 0,706$.
4. Обчислена величина $\chi^2 = 31,77$.

Щоб завершити роботу, користувачеві необхідно натиснути на кнопку “Файл \ Вихід”.

Для наочності та зручності формування висновків побудована програмою таблиця з розрахованими параметрами представлена нижче (табл. 2). Як видно з табл. 2, думки офіцерів-експертів коливаються у певних межах.

Задовільні результати отримали 5-й і 8-й фактори (коефіцієнт варіації відповідно 6 і 14 %). Незадовільні результати дали 3-й і 10-й фактори (53 і 63 % відповідно). Здавалось би, великі коефіцієнти варіації вказують на те, що необхідно організувати повторні опитування за цими факторами. Але остаточні висновки слід робити після визначення величини показників узгодженості за всією сукупністю факторів. З цією метою визначають коефіцієнт конкордації.

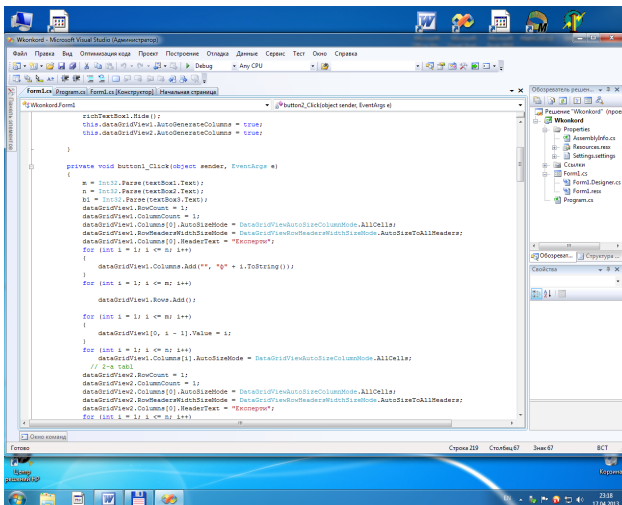


Рис. 1. Фрагмент коду програми

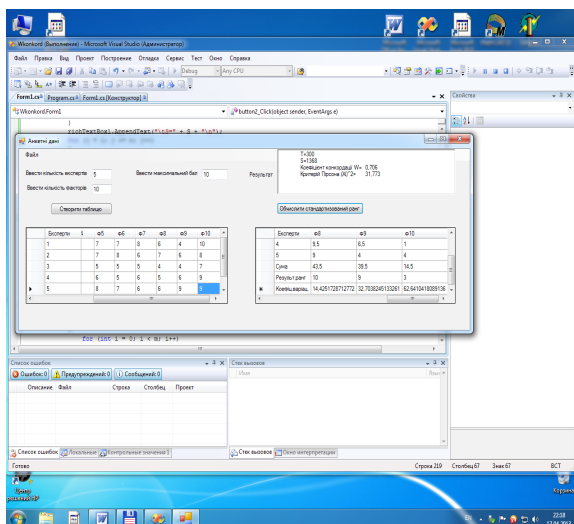


Рис. 2. Головне вікно програми

Таблиця 2

Стандартизована таблиця рангів

Експерти	Фактори									
	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4	Ф5	Ф6	Ф7	Ф8	Ф9	Ф10
1	3	3	3	5,5	7,5	7,5	5,5	9	10	1
2	1,5	1,5	6,5	6,5	6,5	3,5	9,5	6,5	9,5	3,5
3	1,5	1,5	3,5	3,5	7	7	7	9,5	9,5	5
4	3	3	3	6,5	6,5	9,5	6,5	9,5	6,5	1
5	4	1,5	1,5	9	6	7	9	9	4	4
Сума	13	10,5	17,5	31	33,5	34,5	37,5	43,5	39,5	14,5
Результ. ранг	2	1	4	5	6	7	8	10	9	3
Коеф. варіац., %	42	39	53	32	6	31	23	14	33	63

Відповідно до отриманих даних коефіцієнт конкордації для всієї сукупності факторів ($n = 10$) $W = 0,706$. Таким чином, коефіцієнт конкордації розташований в області додатних значень, відмінних від нуля і близьких до одиниці. Це свідчить про наявність узгодженості думок експертів,

незважаючи на істотні варіації 3-го і 10-го факторів. З метою визначення значущості розрахованого коефіцієнта конкордації для рівня значущості $\alpha = 0,05$ та числа ступенів вільності $\nu = n - 1 = 9$ знаходимо табличне значення критерію Пірсона: $\chi_{tab}^2 = 16,9$. Обчислене фактичне значення рівне $\chi^2 = 31,77$. Очевидно, що фактичне значення істотно більше табличного $\chi^2 > 16,9$, що підтверджує достатню узгодженість думок експертів за всією сукупністю розглянутих факторів.

Отже, провівши відповідні обчислення, за даним прикладом можна зробити такий висновок: з імовірністю 0,95 можна стверджувати, що на психологічний стан офіцерів, рівень їх особистої психологічної підготовки, самоконтролю та саморегуляції психологічного стану значною мірою впливає фактор 2 – локус контролю (міра активності) і фактор 1 – витривалість. Крім того фактор 10 – самостійність у професійній діяльності також отримав високий ранг, хоча думки експертів тут частково розбігаються (коефіцієнт варіації рівний 63 %). Менший вплив мають 8, 9 і 7-й фактори. Згідно з критерієм Пірсона на рівні значущості $\alpha = 0,05$ можна зробити висновок, що думки всіх опитаних офіцерів достовірні й узгоджені.

Висновок. Отже, за результатами проведеного аналізу в роботі виділено актуальність застосування методів математичної статистики для аналізу результатів експертних оцінок і охарактеризовано метод ранжування цих оцінок; побудовано алгоритм та програмний код визначення факторів, які впливають на досліджуваний об'єкт і перевірку узгодженості та достовірності експертних оцінок.

Напрямами подальших досліджень вбачається необхідність автоматизації системи відбору експертів, підвищення надійності характеристик групової думки.

Список використаної літератури

1. Бешелев С. Д. Математико-статистические методы экспертных оценок / С. Д. Бешелев, Ф. Г. Гурвич. – 2-е изд. – М. : Статистика, 1980. – 263 с.
2. Елтаренко Е. А. Обработка экспертных оценок : учебн. пособ. / Е. А. Елтаренко, Е. К. Крупинова. – М. : Изд. МИФИ 1982. – 96 с.
3. Трасковецька Л. М. Прикладна математика : навч. посібник / Л. М. Трасковецька, Г. Я. Стопень. – Хмельницький : ХНУ, 2011. – 158 с.

Стаття надійшла до редакції 29.08.2013.

Трасковецкая Л. М., Боровик Л. В., Боровик О. В. **Автоматизация математических методов экспертных оценок**

В работе охарактеризован метод ранжирования и оценка полученной информации, построен алгоритм и программа определения факторов, которые влияют на исследуемый объект и проверку согласованности и достоверности экспертных оценок. В рамках исследования на примере детально проанализирована методика работы с программой.

Ключевые слова: *ранжирование, коэффициент конкордации, алгоритм, экспертные оценки, стандартизированная таблица рангов.*

Traskovetska L. M., Borovyk L. V., Borovyk O. V. **Automatization of mathematical methods of expert evaluation**

The article characterizes the method of rank correlation and evaluation of obtained information, developed algorithm and program of determination of factors influencing upon the studied object and verification of conformity and accuracy of expert evaluation.

Keywords: *rank correlation, concordance coefficient, algorithm, expert evaluation, standardized rank table.*