УДК 681.322

О.В. Шматко, Є.В. Сичев

Національний технічний університет «ХПІ», Харків

БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИЙ ВИБІР СИСТЕМ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЧІТКИХ ПАРНИХ ПОРІВНЯНЬ АЛЬТЕРНАТИВ

У статті розглядається задача багатокритеріального аналізу систем захисту інформації. Визначено особливості цієї задачі й обґрунтована доцільність застосування методу нечіткого багатокритеріального аналізу при виборі кращого варіанта системи захисту інформації. Запропоновано правила "що, якщо" аналізу систем захисту інформації, які визначають необхідні зміни конкретного варіанту системи.

Ключові слова: *система захисту інформації, нечіткий багатокритеріальний аналіз, правила «що-якщо».*

Вступ

Оцінки параметрів СЗІ в умовах високого ступеня невизначеності умов її функціонування повинні обчислюватися з використанням не однієї математичної моделі, а погодженого сімейства моделей.

При синтезі оптимальних систем захисту вихідними повинні з'явитися наступні два положення:

– вибір математично продуктивного критерію оптимальності відповідно до архітектури системи захисту й технології обробки інформації в ІС;

– чітке математичне формулювання завдання, що враховує всі апріорні відомості й що дозволяє вирішити її відповідно до прийнятого критерію.

Під ефективністю систем захисту інформації будемо розуміти ефективність її використання як активного засобу в операції забезпечення конфіденційності обробки, зберігання й передачі інформації.

Теоретичні основи побудови оптимальних систем захисту винятково складні й, незважаючи на інтенсивність досліджень у цій предметній області, ще далекі від досконалості. Крім того відсутність досить загальної теорії, що формує методологічні підстави вивчення явищ із невизначеними факторами, робить непридатними баєсовські методи класичної теорії статистичних рішень для синтезу оптимальних систем захисту. Під методологією оптимізації систем захисту інформації будемо розуміти розробку теорії, що зв'язує їхню структуру, логічну організацію, методи й засоби діяльності з метою формування функції вибору й виділення підмножини найкращих стратегій.

Оптимальним буде вважатися рішення, що у передбачуваних умовах щонайкраще задовольнить умовам розглянутого завдання. Оптимальність рішення досягається за рахунок найбільш раціонального розподілу ресурсів, затрачуваних на рішення проблеми захисту. Таким чином задача вибору оптимальної системи захисту інформації зводиться до вирішення багатокритеріальної задачі вибору на множині альтернатив.

Більшість методів багатокритеріального аналізу перетворить вектор часткових критеріїв, по яких оцінюються альтернативи, у скалярний інтегральний критерій [1]. При такому підході складно враховувати критерії якості, які оцінюють експерти. Одним з методів, що себе добре зарекомендували в теорії прийняття рішень, для роботи з якісною інформацією є теорія нечітких множин [2]. Сьогодні дана теорія – це ефективний математичний інструмент для роботи в умовах невизначеності [3].

Постановка задачі й вибір методу розв'язання

Припустимо, що відомо: $P = \{P_1, P_2, ..., P_k\}$ – множина систем захисту інформації; $G = \{G_1, G_2, ..., G_k\}$ – множина кількісних і якісних критеріїв оцінки систем захисту інформації (СЗІ).

Багатокритеріальний аналіз альтернатив складається в упорядкуванні елементів множини P за критеріями G. З урахуванням опублікованих даних виділимо наступні критерії оцінки СЗІ: G_1 – ступінь пророблення системи; G_2 – очікуваний ефект; G_3 – ризики; G_4 – швидкість виведення системи в експлуатацію; G_5 – перспективи розвитку СЗІ; G_6 – вартість СЗІ.

Множина обраних критеріїв є незамкнутою - її можна доповнити з урахуванням вимог до конкретної СЗІ. Крім того, кожний критерій може розглядатися як згортка приватних показників на більше низькому рівні ієрархії.

Для побудови моделі прийняття рішень будемо використати метод нечіткого багатокритеріального аналізу варіантів, що дозволяє врахувати описані вище особливості СЗІ [4 – 6]. Запропонований метод не вимагає ні кількісних оцінок приватних критеріїв, ні процедури скаляризації.

Позначимо як $\mu_{G_i}(P_i)$ число з інтервалу [0, 1], яким СЗІ $P_j \in P$ оцінюють за критерієм $G_i \in G$: чим більше число $\mu_{G_i}(P_i)$, тим краще проект $P_j \in P$ за критерієм G_i, $j = 1..k$, $i = 1..n$. Тоді критерій G_i можна представити нечіткою множиною $\tilde{G}_i$ на універсальній множині СЗІ P:

$$\tilde{G}_i = \left\{ \frac{\mu_{G_i}(P_1)}{P_1}, \frac{\mu_{G_i}(P_2)}{P_2}, ..., \frac{\mu_{G_i}(P_k)}{P_k} \right\}, \qquad (1)$$

де $\mu_{Gi}(P_j)$ – ступінь приналежності елемента P_j нечіткій множині $\tilde{G}_i$.

Знаходити ступені приналежності нечіткої множині (1) будемо по методу побудови функцій приналежності на основі парних порівнянь [7]. Для кожної пари СЗІ експерт за критерієм $G_i (i = \overline{1...n})$ оцінює перевагу одного варіанта перед іншим. Парні порівняння задаються у вигляді матриці А:

$$A = \begin{array}{c|cccc} & P_1 & P_2 & ... & P_k \\ P_1 & \alpha_{11} & \alpha_{12} & ... & \alpha_{1k} \\ P_2 & \alpha_{21} & \alpha_{22} & ... & \alpha_{2k} \\ ... & ... & ... & ... & ... \\ P_k & \alpha_{k1} & \alpha_{k2} & ... & \alpha_{kk} \end{array},$$

де a_{ij} – перевага проекту P_i перед проектом $P_j (i, j = \overline{1, k})$ обумовлене по дев'ятибальній шкалі Сааті [7]:

1 – якщо перевага відсутня;

3 – якщо перевага слабка;

5 – якщо перевага істотна;

7 – якщо перевага явна;

9 – якщо перевага абсолютна;

2, 4, 6, 8 – проміжні порівняльні оцінки.

Матриця парних порівнянь А є діагональною $(a_{ij} = 1)$ й обернено симетричною $(a_{ij} = 1/a_{ji}, i, j = \overline{1, k})$. Ступеням приналежності нечіткої множини (1) відповідають координати власного вектора $W = (w_1, w_2, ..., w_k)^\tau$ матриці $A : \mu_G(P_j) = w_j, j = \overline{1, k}$.

Власний вектор матриці А знаходять за допомогою наступної системи рівнянь:

$$\begin{cases} A \times W = \lambda_{max} \times W; \\ w_1 + w_2 + ... + w_k = 1, \end{cases} \quad (2)$$

де λ_{max} – найбільше власне значення матриці А.

Відповідно до принципу Беллмана-Заде [6], найкращою буде альтернатива, що найбільшою мірою одночасно задовольняє всім критеріям. Нечітке рішення являє собою перетинання приватних критеріїв:

$$\tilde{D} = \tilde{G}_1^{\alpha_1} \cap \tilde{G}_2^{\alpha_2} \cap ... \cap \tilde{G}_n^{\alpha_n} =$$

$$\left\{ \frac{\min\limits_{i=1,n}\left(\mu_{G_j}^{\alpha_j}(P_1)\right)}{P_1}, \frac{\min\limits_{i=1,n}\left(\mu_{G_j}^{\alpha_j}(P_2)\right)}{P_2}, ..., \frac{\min\limits_{i=1,n}\left(\mu_{G_j}^{\alpha_j}(P_k)\right)}{P_k} \right\}, \quad (3)$$

де α_j – коефіцієнт відносної важливості критерію G_j, $\alpha_1 + \alpha_2 + ... + \alpha_n = 1$.

В відповідності з нечітким рішенням (3) найкращим буде проект із максимальним ступенем приналежності:

$$D = \arg\max(\mu_D(P_1), \mu_D(P_2), ..., \mu_D(P_k))$$

Приклад багатокритеріального аналізу СЗІ

Зрівняємо чотири проекти створення бренду. Експертні парні порівняння проектів $P_1 \div P_4$ за критеріями $G_1 \div G_6$ наведені в табл. 1.

Таблиця 1.

Парні порівняння СЗІ

Критерій	Парні порівняння
G1	відсутня перевага P1 перед P2 слабка перевага P2 перед P3 слабка перевага P1 перед P3 істотна перевага P2 перед P4 істотна перевага P1 перед P4 слабка перевага P3 перед P4
G2	слабка перевага P1 перед P2 майже слабка перевага P2 перед P істотна перевага P1 перед P3 слабка перевага P2 перед P4 сильна перевага P1 перед P4 майже слабка перевага P3 перед P4
G3	істотна перевага P1 перед P2 слабка перевага P2 перед P4 відсутня перевага P1 перед P3 істотна перевага P3 перед P2 сильна перевага P1 перед P4 сильна перевага P3 перед P4
G4	слабка перевага P2 перед P1 істотна перевага P3 перед P1 відсутня перевага P2 перед P4 майже слабка перевага P3 перед P2 слабка перевага P4 перед P1 слабка перевага P3 перед P4
G5	слабка перевага P2 перед P1 істотна перевага P4 перед P1 відсутня перевага P2 перед P3 слабка перевага P4 перед P2 слабка перевага P3 перед P1 майже слабка перевага P4 перед P3
G6	сильна перевага P2 перед P1 слабка перевага P3 перед P1 слабка перевага P2 перед P3 сильна перевага P4 перед P1 відсутня перевага P2 перед P4 слабка перевага P4 перед P3

Експертним висловленням відповідають такі матриці парних порівнянь:

$$A(G_1) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 3 & 5 \\ 1 & 1 & 3 & 5 \\ 1/3 & 1/3 & 1 & 3 \\ 1/5 & 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}; A(G_2) = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 & 7 \\ 1/3 & 1 & 2 & 3 \\ 1/5 & 1/2 & 1 & 2 \\ 1/7 & 1/3 & 1/2 & 1 \end{bmatrix};$$

$$A(G_3) = \begin{bmatrix} 1 & 5 & 1 & 7 \\ 1/5 & 1 & 1/5 & 3 \\ 1 & 5 & 1 & 7 \\ 1/7 & 1/3 & 1/7 & 1 \end{bmatrix};$$

$$A(G_4) = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/5 & 1/3 \\ 3 & 1 & 1/2 & 1 \\ 5 & 2 & 1 & 3 \\ 3 & 1 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}; \quad (4)$$

$$A(G_5) = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/3 & 1/5 \\ 3 & 1 & 1 & 1/3 \\ 3 & 1 & 1 & 1/2 \\ 5 & 3 & 2 & 1 \end{bmatrix}; A(G_6) = \begin{bmatrix} 1 & 1/7 & 1/3 & 1/7 \\ 7 & 1 & 3 & 1 \\ 3 & 1/3 & 1 & 1/3 \\ 7 & 1 & 3 & 1 \end{bmatrix}.$$

У кожній матриці шість елементів відповідають парним порівнянь із табл. 1. Інші елементи знайдені з урахуванням властивостей діагональності й зворотної симетричності матриці парних порівнянь. Застосовуючи формулу (2) до матриць (4), одержуємо наступні нечіткі множини:

$$\tilde{G}_1 = \left\{ \frac{0.39}{P_1}, \frac{0.39}{P_2}, \frac{0.15}{P_3}, \frac{0.07}{P_4} \right\};$$
$$\tilde{G}_2 = \left\{ \frac{0.59}{P_1}, \frac{0.22}{P_2}, \frac{0.12}{P_3}, \frac{0.07}{P_4} \right\};$$
$$\tilde{G}_3 = \left\{ \frac{0.42}{P_1}, \frac{0.11}{P_2}, \frac{0.42}{P_3}, \frac{0.07}{P_4} \right\}; \qquad (5)$$
$$\tilde{G}_4 = \left\{ \frac{0.08}{P_1}, \frac{0.23}{P_2}, \frac{0.48}{P_3}, \frac{0.21}{P_4} \right\};$$
$$\tilde{G}_5 = \left\{ \frac{0.08}{P_1}, \frac{0.21}{P_2}, \frac{0.23}{P_3}, \frac{0.48}{P_4} \right\};$$
$$\tilde{G}_6 = \left\{ \frac{0.06}{P_1}, \frac{0.40}{P_2}, \frac{0.14}{P_3}, \frac{0.40}{P_4} \right\}.$$

З (5) випливає, що не існує СЗІ, що домінує за всіма критеріями, тому рішення буде залежати від важливості самих критеріїв. Припустимо, що експертні парні порівняння важливості критеріїв представлені наступною матрицею:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/2 & 4 & 1 & 3 \\ 3 & 1 & 2 & 6 & 3 & 5 \\ 2 & 1/2 & 1 & 5 & 2 & 3 \\ 1/4 & 1/6 & 1/5 & 1 & 1/3 & 1/2 \\ 1 & 1/3 & 1/2 & 3 & 1 & 2 \\ 1/3 & 1/5 & 1/3 & 2 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}.$$

По формулі (2) знаходимо наступні коефіцієнти важливості критеріїв $G_1 \div G_6$:

$$\alpha_1 = 0.15;\ \alpha_2 = 0.34;\ \alpha_3 = 0.26;$$
$$\alpha_4 = 0.05;\ \alpha_5 = 0.13;\ \alpha_6 = 0.07.$$

Таким чином, при прийнятті рішення найбільш важливі очікуваний ефект (G2) і ризики (G3).

З урахуванням важливості критеріїв по формулі (3) отримуємо такі нечіткі множини:

$$\tilde{G}_1^{\alpha_1} = \left\{ \frac{0.868}{P_1}, \frac{0.868}{P_2}, \frac{0.753}{P_3}, \frac{0.667}{P_4} \right\};$$
$$\tilde{G}_2^{\alpha_2} = \left\{ \frac{0.835}{P_1}, \frac{0.596}{P_2}, \frac{0.490}{P_3}, \frac{0.409}{P_4} \right\};$$
$$\tilde{G}_3^{\alpha_3} = \left\{ \frac{0.797}{P_1}, \frac{0.552}{P_2}, \frac{0.797}{P_3}, \frac{0.456}{P_4} \right\};$$
$$\tilde{G}_4^{\alpha_4} = \left\{ \frac{0.894}{P_1}, \frac{0.936}{P_2}, \frac{0.969}{P_3}, \frac{0.933}{P_4} \right\};$$
$$\tilde{G}_5^{\alpha_5} = \left\{ \frac{0.717}{P_1}, \frac{0.813}{P_2}, \frac{0.823}{P_3}, \frac{0.909}{P_4} \right\};$$
$$\tilde{G}_6^{\alpha_6} = \left\{ \frac{0.813}{P_1}, \frac{0.938}{P_2}, \frac{0.871}{P_3}, \frac{0.938}{P_4} \right\}.$$

Нечіткі множини критеріїв $G_1 \div G_6$ для проектів $P_1 \div P_6$ показано на рис. 1. Після перетину $\tilde{G}_1^{\alpha_1} \cap \tilde{G}_2^{\alpha_2} \cap ... \cap \tilde{G}_6^{\alpha_6}$ отримаємо нечітку множину:

$$\tilde{D} = \left\{ \frac{0.717}{P_1}, \frac{0.552}{P_2}, \frac{0.490}{P_3}, \frac{0.409}{P_4} \right\},$$

яка свідчить про переваги P1 над іншими. Таким чином, СЗІ P1 краща за інші і задовольняє усім критеріям з урахуванням їх важливості.

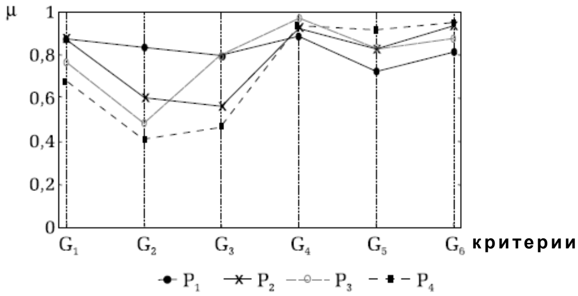

Рис. 1. Порівняння СЗІ $P_1 \div P_4$ з урахуванням важливості критеріїв $G_1 \div G_6$

Аналіз СЗІ

На практиці часто виникає питання: "Що необхідно змінити в даній СЗІ, що б вона стала найкращою?" Для відповіді на нього треба знати, наскільки "відчутно" ухвалене рішення до експертних парних порівнянь. Нижче пропонується підхід до дослідження чутливості, ідея якого складається у визначенні, яким буде рішення, якщо змінити одне з парних порівнянь. При зміні одного з парних порівнянь варіантів необхідно забезпечити несуперечність інших. Наприклад, змінюється a_{ij} – рівень переваги СЗІ P_i перед P_j. У цьому випадку в матриці парних порівнянь необхідно змінити й елемент a_{ji}, тому що вони зв'язані залежністю $a_{ji} = 1/a_{ij}$. Крім того, можливі зміни рівнів переваги СЗІ *Pi* перед іншими, котрим відповідають елементи a_{ir} і $a_{ri} = 1/a_{ir} (r = \overline{1.k}, r \neq i, r \neq j)$ матриці парних порівнянь. Нижче розглядаються чотири ситуації, коли нове значення елемента a_{ij} потребує коректування елемента a_{ir} матриці парних порівнянь.

1. Нехай перевага СЗІ Pj перед Pi сильніше, ніж перед Pr, тобто $a_{ji} > a_{jr}$. У цьому випадку СЗІ Pi не повинна переверщувати СЗІ Pr, отже, $a_{ir} \leq 1$.

2. Нехай перевага СЗІ Pi перед Pj сильніше, ніж перевага СЗІ Pr перед Pj, тобто $a_{ij} > a_{ri}$. У цьому випадку СЗІ Pr не повинні перевершувати Pi отже, $a_{ir} \geq 1$.

3. Нехай СЗІ Pi краща Pj ($a_{ij} > 1$), а СЗІ Pj краща Pr ($a_{jr} > 1$), тоді СЗІ Pi не буде кращою, ніж Pr, отже, $a_{ir} > 1$. При цьому a_{ri} - рівень переваги Pi перед Pr - повинен бути не менше, ніж a_{ij} і a_{jr}.

4. Нехай СЗІ Pi гірша Pj ($a_{ij} < 1$), а СЗІ Pj гірша Pr ($a_{jr} < 1$), тоді СЗІ Pi повинна бути гіршою, ніж Pr, отже, $a_{ir} < 1$. При цьому a_{ri} - рівень переваги Pr перед Pi - повинен бути не менше, ніж $a_{ji} = 1/a_{ij}$ і $a_{rj} = 1/a_{jr}$.

З використанням наведених правил визначимо, що необхідно змінити в СЗІ P3, щоб вона стала найкращою.

СЗІ P3 має третій ранг; СЗІ P1 і P2 кращі, ніж вона. Припустимо, що можна поліпшити СЗІ P3 за критерієм G2. Змоделюємо, як вплине на ухвалення рішення зміна рівня переваги P3 перед P1 з поточного значення "істотна перевага P1 перед P3" до оцінки "слабка перевага P3 перед P1". Для цього змінемо значення елемента a31 матриці парних порівнянь A(G2) з 1/5 на 1/4, 1/3, 1/2, 1, 2 і 3 і проведемо розрахунки з використанням описанних вище чотирьох правил.

Результати розрахунків представлені на рис. 2 залежностями рішення від зміни парного порівняння a31. СЗІ P3 стане другою за рангом, коли за критерієм G2 перевага P1 перед нею буде менше слабкою (a31 > 1/3). СЗІ P3 стане найкращою, коли вона буде хоча б незначно перевершувати СЗІ P1 за критерієм G2 (a31 > 1). Таким чином, допрацьовувати СЗІ P3 має сенс тільки в тому випадку, якщо є можливість зробити її кращою за СЗІ P1 за критерієм G2.

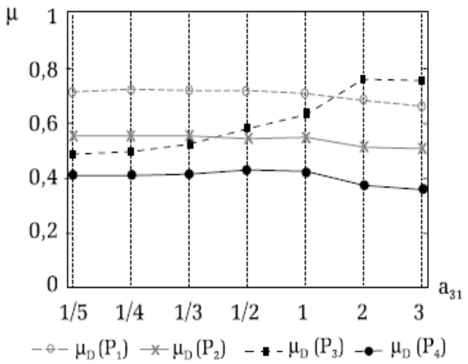

Рис. 2. Результати аналізу СЗІ

За запропонованими правилами можна проводить і аналіз сценаріїв, коли одночасно змінюються показники проекту по декількох критеріям. При зміні двох парних порівнянь візуалізувати результати аналізу сценаріїв треба в тривимірному просторі.

Висновки

У роботі розглядається доцільність використання методу нечіткого багатокритеріального аналізу при виборі найкращого варіанта СЗІ. Запропоновано метод багатокритеріального аналізу за допомогою парних порівнянь альтернатив. Особливістю методу є використання принципу Беллмана-Заде, відповідно до якого не допускається компенсація недоліку одних показників надлишком інших. Як рішення вибирається альтернатива, що задовольняє одночасно всім критеріям у максимальному ступені.

Список літератури

1. *Хубка В. Теория технических систем / В. Хубка. – М.: Мир. 1987. – 208 с.*
2. *Zadeh L. Fuzzy sets / L. Zadeh // Information and Control. – 1965. – No. 8. – P. 338-353.*
3. *Zopounidis C. Fuzzy Sets in Management / C. Zopounidis, P.M. Pardalos, G. Baourakis // Economics and Marketing. World Scientific. – 2001.*
4. *Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети / А.П. Ротштейн. – Вінниця: УНІВЕРСУМGВінниця, 1999. – 320 с.*
5. *Ротштейн А.П. Нечеткий многокритериальный анализ вариантов с применением парных сравнений / А.П. Ротштейн, С.Д. Штовба // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2001. – № 3. – С. 150-154.*
6. *Борисов А.Н. Принятие решений на основе нечетких моделей: примеры использования / А.Н. Борисов, О.А. Крумберг, И.П. Федоров. – Рига: Зинатне, 1990. – 184 с.*
7. *Саати Т.Л. Взаимодействие в иерархических системах / Т.Л. Саати // Техническая кибернетика. – 1979. – № 1. – С. 68-84.*

Надійшла до редколегії 25.04.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.О. Хорошко, Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, Київ.

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ ВЫБОР СИСТЕМ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ С ПОМОЩЬЮ НЕЧЕТКИХ ПАРНЫХ СРАВНЕНИЙ АЛЬТЕРНАТИВ

А.В. Шматко, Е.В. Сычев

В статье рассматривается задача многокритериального анализа систем защиты информации. Определена особенности этой задачи и обосновано целесообразность применения метода нечеткого многокритериального анализа при выборе лучшего варианта системы защиты информации. Предложены правила "что-если" анализа систем защиты информации, которые определяют необходимые изменения конкретного варианта системы

Ключевые слова: *система защиты информации, нечеткий многокритериальный анализ, правила "что-если".*

MULTIOBJECTIVE CHOICE OF SYSTEMS OF PROTECTION OF THE INFORMATION BY MEANS OF INDISTINCT PAIR COMPARISONS OF ALTERNATIVES

A.V. Shmatko, E.V. Sychev

In clause the problem multiobjective the analysis of systems of protection of the information is considered. It is certain features of this problem and it is proved expediency of application of a method indistinct multiobjective analysis at a choice of the best variant of system of protection of the information. Rules "if-then" the analysis of systems of protection of the information which define necessary changes of a concrete variant of system are offered

Keywords: *system of protection of the information, indistinct multiobjective the analysis, rules "if-then".*