

**С. М. Куземко, к. т. н., доц.; В. М. Мельничук**

## **УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ МЕТОД АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ ДЛЯ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ В КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЯХ**

*Предложены и проведены экспериментальные исследования усовершенствованного метода анализа иерархий, основывающегося на интервальном оценивании предпочтений критериев и альтернатив.*

**Ключевые слова:** *принятие решений, интервальные вычисления, многокритериальные задачи.*

### **Введение**

На сегодняшний день в компьютерных и телекоммуникационных сетях широко используются разнообразные системы и средства защиты информации. Они должны обеспечивать защиту на должном уровне и одновременно не должны быть слишком сложными и дорогими в разработке и функционировании [1].

Поскольку системы защиты информации в общем характеризуются большим количеством критериев, которые, как правило, конфликтуют между собой (например, цена – качество), то выбор конкретной архитектуры системы защиты информации является сложной, многопараметрической, оптимизационной задачей, которая в значительной мере зависит от системы предпочтений лица или лиц, осуществляющих выбор [2].

На сегодняшний день для решения задач принятия решений со многими критериями существует много методов: методы приведения критериев к одному (метод главной компоненты, комплексного критерия, справедливого компромисса, Гермейера, построения и анализа множества Эджворта – Парето) и методы исследования психологических особенностей лица, принимающего решение (ЛПР) (многокритериальная теория полезности, метод анализа иерархий, методы ранжирования многокритериальных альтернатив) [3].

Для решения задачи выбора оптимальной системы защиты информации более целесообразным считается использование методов, основывающихся на исследовании психологических особенностей ЛПР [3]. Из этой группы наиболее распространенным и простым для восприятия является метод анализа иерархий. Но этот метод не позволяет в полной мере описать неопределенность системы предпочтений ЛПР. Также его невозможно использовать в случае нескольких ЛПР, имеющих конфликтующие системы предпочтений. Поэтому целесообразно усовершенствовать метода анализ иерархий.

### **Постановка задачи**

Поставим задачу разработки и исследования метода выбора оптимальной системы защиты информации в случае нескольких ЛПР или наличии неопределенности в системе предпочтений ЛПР. Для этого рассмотрим усовершенствованный метод анализа иерархий.

### **Усовершенствованный метод анализа иерархий**

Традиционный метод анализа иерархий был предложен Саати [4]. В методе используется дерево критериев, в котором общие критерии разделяются на критерии частного характера. Для каждой группы критериев определяются коэффициенты важности. Альтернативы также сравниваются между собой по отдельным критериям. Средством определения коэффициентов важности критериев и альтернатив является попарное сравнение. Результат сравнения оценивается по бальной шкале. На основе таких сравнений вычисляются

коэффициенты важности критериев, оценки альтернатив и находится общая оценка как взвешенная сумма оценок критериев. Использование балльного оценивания не позволяет описывать неопределенность системы предпочтений ЛПР или принимать групповые решения [4].

С целью решения поставленной задачи предложим усовершенствованный метод анализа иерархий, основывающийся на использовании интервальных оценок предпочтения критериев и альтернатив. Усовершенствованный метод анализа иерархий содержит следующие этапы:

1. Структурирование задачи в виде иерархической структуры:
  - цели;
  - критерии;
  - альтернативы.

2. Путем опроса ЛПР или группы ЛПР с использованием интервальной балльной шкалы заполняется матрица попарных сравнений предпочтений для критериев. Определяются относительные коэффициенты значимости критериев по формуле:

$$\bar{w}_i = n \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n \bar{q}_{ij}},$$

где  $\bar{w}_i$  – интервальная оценка относительного коэффициента значимости критерия  $Q_i$ ;  $\bar{q}_{ij}$  – интервальная балльная оценка предпочтения критерия  $Q_i$  критерию  $Q_j$ .

3. Путем опроса ЛПР или группы ЛПР с использованием интервальной балльной шкалы заполняются матрицы попарных сравнений для альтернатив по каждому из критериев. Определяются относительные коэффициенты значимости критериев по формуле:

$$\bar{V}_{jk} = n \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n \bar{a}_{ij}^k},$$

где  $\bar{V}_{jk}$  – интервальное значение относительного коэффициента значимости альтернативы  $a_j$  по критерию  $Q_k$ ;  $\bar{a}_{ij}^k$  – интервальная балльная оценка предпочтения альтернативы  $a_i$  альтернативе  $a_j$  по критерию  $Q_k$ .

4. Вычисляется количественный индикатор качества каждой альтернативы по формуле:

$$\bar{Q}^{rn}(a_j) = \sum_{i=1}^N \bar{w}_i \bar{V}_{ji},$$

где  $\bar{Q}^{rn}(a_j)$  – интервальная глобальная оценка альтернативы  $a_j$ .

При групповом принятии решения на этапе 2 и 3 каждое ЛПР строит матрицы попарных сравнений критериев и альтернатив. После этого вычисляются общие матрицы попарных сравнений критериев и альтернатив по формулам:

$$\bar{q}_{ij} = [q_{1ij}; q_{2ij}] = \left[ \min_g \{q^g_{1ij}\}; \max_g \{q^g_{2ij}\} \right]$$

$$\bar{a}_{ij}^k = [a^k_{1ij}; a^k_{2ij}] = \left[ \min_g \{q^{gk}_{1ij}\}; \max_g \{q^{gk}_{2ij}\} \right]$$

где  $q^g_{1ij}, q^g_{2ij}$  – нижняя и верхняя границы интервальной балльной оценки предпочтения критерия  $Q_i$  критерию  $Q_j$   $g$ -того ЛПР;  $a^{gk}_{1ij}, a^{gk}_{2ij}$  – интервальная балльная оценка предпочтения альтернативы  $a_i$  альтернативе  $a_j$  по критерию  $Q_k$   $g$ -того ЛПР.

Арифметические операции с интервальными оценками выполняются по таким формулам

[5]:

$$a + b = c = [c_1; c_2] = [a_1 + b_1; a_2 + b_2, ]$$

$$a \times b = c = [c_1; c_2] = [\min\{a_i \times b_j\}; \max\{a_i \times b_j\}]$$

$$\sqrt[n]{a} = c = [c_1; c_2] = [\min\{\sqrt[n]{a_i}\}; \max\{\sqrt[n]{a_i}\}]$$

$$\frac{1}{a} = c = [c_1; c_2] = \left[ \min\left\{\frac{1}{a_i}\right\}; \max\left\{\frac{1}{a_i}\right\} \right],$$

где a, b, c – интервальные числа.

Экспериментальные исследования предложенного метода проведем на примере решения многокритериальной задачи выбора оптимальной системы защиты при разных условиях. В первом случае задача характеризуется неопределенностью в системе предпочтений одного ЛПР, во втором – наличием двух ЛПР с противоречивыми системами предпочтений.

### Экспериментальные исследования

Рассмотрим общее условие задачи выбора оптимальной системы защиты информации.

Нужно выбрать СЗИ, соответствующую следующим требованиям: максимальная степень защиты, невысокая цена, удобство в обслуживании.

Имеются три альтернативы:

a<sub>1</sub> – степень защиты – чрезвычайно высокая, очень дорогая СЗИ, очень сложная в обслуживании;

a<sub>2</sub> – степень защиты – высокая, дорогая СЗИ, сложная в обслуживании;

a<sub>3</sub> – степень защиты – умеренно высокая, недорогая СЗИ, несложная в обслуживании.

Чтобы решить многокритериальную задачу ПР, нужно определить  $a_{opt} \in \{a_1, a_2, a_3\}$ .

Задача выбора оптимальной СЗИ характеризуется такими критериями:

Q<sub>1</sub> – степень защиты;

Q<sub>2</sub> – цена;

Q<sub>3</sub> – сложность в обслуживании.

Для попарных сравнений критериев и альтернатив используем следующую шкалу относительной значимости:

#### Шкала относительной значимости

Интенсивность относительной значимости	Определение
1	одинаковая значимость
3	умеренное преимущество
5	существенное преимущество
7	сильное преимущество
9	очень сильное преимущество
2, 4, 6, 8	промежуточные значения

*Первый случай* – одно ЛПР с неопределенностью в системе предпочтений.

С использованием интервальных оценок была построена матрица попарных сравнений для критериев, на основе которой с помощью предложенных формул вычислены относительные коэффициенты значимости критериев. Результаты вычислений приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Матрица попарных сравнений для критериев**

	Q <sub>1</sub> (ст. защиты)	Q <sub>2</sub> (цена)	Q <sub>3</sub> (сл. обслуж.)	Собственный вектор
Q <sub>1</sub> (ст. защиты)	1	[2; 4]	[5; 6]	[2, 16; 2, 88]
Q <sub>2</sub> (цена)	$\frac{1}{[2;4]}$	1	[3; 4]	[0,91; 1,26]
Q <sub>3</sub> (сл. обслуж.)	$\frac{1}{[5;6]}$	$\frac{1}{[3;4]}$	1	[0,35; 0,4]

Элементы собственного вектора вычисляются как корень степени N из произведения элементов соответствующей строки матрицы. Их значения это – ОКВК соответствующих критериев.

Построим путем опроса ЛПР матрицы попарных сравнений для альтернатив по каждому критерию и с помощью предложенных формул определим соответствующие интервальные оценки коэффициентов значимости альтернатив. Результаты приведены в табл. 2 – 3.

Таблица 2

**Матрица попарных сравнений для альтернатив по критериям Q1 и Q2**

Q <sub>1</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	Собственный вектор	Q <sub>2</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	Собственный вектор
a <sub>1</sub>	1	[3; 4]	[4; 5]	[2,29; 2,7]	a <sub>1</sub>	1	$\frac{1}{[3;4]}$	$\frac{1}{[7;8]}$	[0,31; 0,36]
a <sub>2</sub>	$\frac{1}{[3;4]}$	1	[2; 3]	[0,79; 1]	a <sub>2</sub>	[3; 4]	1	$\frac{1}{[4;5]}$	[0,84; 1]
a <sub>3</sub>	$\frac{1}{[4;5]}$	$\frac{1}{[2;3]}$	1	[0,4; 0,5]	a <sub>3</sub>	[7; 8]	[4; 5]	1	[3,04; 3,42]

Таблица 3

**Матрица попарных сравнений для альтернатив по критерию Q3**

Q <sub>3</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	Собственный вектор
a <sub>1</sub>	1	$\frac{1}{[3;4]}$	$\frac{1}{[6;8]}$	[0,32; 0,38]
a <sub>2</sub>	[3; 4]	1	$\frac{1}{[3;4]}$	[0,91; 1,1]
a <sub>3</sub>	[6; 8]	[3; 4]	1	[2,62; 3,17]

Вычислим глобальный критерий для каждой альтернативы:

$$Q^{2l}(a_1) = \sum_{i=1}^3 w_i V_{1i} = [5,34; 8,36],$$

$$Q^{2l}(a_2) = \sum_{i=1}^3 w_i V_{2i} = [2,78; 4,58],$$

$$Q^{2l}(a_3) = \sum_{i=1}^3 w_i V_{3i} = [4,55; 7,01].$$

Наилучшей считается альтернатива с максимальными значениями нижней и верхней границы  $Q^{гл}$ , то есть в нашем случае  $a_{opt} = a_1$ .

*Второй случай* – два ЛПР с противоречивыми системами предпочтений.

В табл. 4 приведены матрицы попарных сравнений для первого и второго ЛПР.

Таблица 4

**Матрица попарных сравнений для критериев для первого и второго ЛПР**

Первое ЛПР	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>	Второе ЛПР	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>
Q <sub>1</sub>	1	[4; 4,5]	[5; 6]	Q <sub>1</sub>	1	[0,39; 4]	[4; 5]
Q <sub>2</sub>	[0,25; 0,5]	1	[1,37; 1,5]	Q <sub>2</sub>	[2; 3]	1	[2,5; 2,67]
Q <sub>3</sub>	[0,33; 0,5]	[0,33; 0,5]	1	Q <sub>3</sub>	[0,4; 0,66]	[0,4; 0,66]	1

Таблица 5

**Согласованная матрица попарных сравнений для критериев**

	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>	Собственный вектор
Q <sub>1</sub>	1	[3,90; 4,50]	[4;6]	[2,5; 3,00]
Q <sub>2</sub>	[0,25; 3]	1	[1,37;2,67]	[0,70; 2]
Q <sub>3</sub>	[0,33; 66]	[0,33; 66]	1	[0,31; 0,48]

Матрицы попарных сравнений альтернатив для двух ЛПР являются согласованными и совпадают с матрицами из табл. 2 – 3 для предыдущей задачи. Вычислим глобальный критерий для каждой альтернативы:

$$Q^{2l}(a_1) = \sum_{i=1}^3 w_i V_{1i} = [6,0412; 9,0024],$$

$$Q^{2l}(a_2) = \sum_{i=1}^3 w_i V_{2i} = [2,8451; 5,528],$$

$$Q^{2l}(a_3) = \sum_{i=1}^3 w_i V_{3i} = [4,962; 9,8616].$$

Наилучшей считается альтернатива с максимальными значениями нижней и верхней границы  $Q^{гл}$ , но в данном случае такой альтернативы нет, поскольку нижняя граница оценки  $a_3$  меньше нижней границы оценки  $a_1$ , и одновременно верхняя граница оценки  $a_3$  больше

верхней границы оценки  $a_1$ . То есть альтернативы  $a_1$  и  $a_3$  несравнимы. Альтернатива  $a_2$  является хуже, чем  $a_1$  и  $a_3$ . Поэтому конечным ответом будут две потенциально оптимальные альтернативы. Для определения наиболее оптимальной из этих двух альтернатив необходимо дальнейшее исследование систем предпочтений ЛПР, возможно с использованием других методов, или проведения переговоров между ЛПР с целью уменьшения конфликтности систем предпочтений путем определенных компромиссов.

### Выводы

Предложены и проведены экспериментальные исследования усовершенствованного метода анализа иерархий, основывающегося на интервальном оценивании предпочтений критериев и альтернатив, которые продемонстрировали возможность решения задач выбора оптимальных систем защиты информации при существовании неопределенности в системах предпочтений ЛПР и при принятии групповых решений. Причем, если объективно на основе существующей информации невозможно определить одну оптимальную альтернативу, метод позволяет сокращать множество начальных альтернатив и в результате ответа получать подмножество потенциально оптимальных и альтернатив, которые несравнимы.

В последующих исследованиях будет использоваться аппарат теории нечетких множественных чисел для оценивания предпочтений критериев и альтернатив.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Домарев В. В. Безопасность информационных технологий. Методология создания систем защиты / В. В. Домарев – К.: ООО "ТИД "ДС", 2002. – 688 с.
2. Титоренко Г. А. Информационные технологии управления: учебное пособие для вузов / под ред. проф. Г. А. Титоренко. – 2-е изд., доп. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 439 с.
3. Курчиков Л. Н. Неопределенность и определенность / Л. Н. Курчиков – М., 1972. – 432 с.
4. Таха Хемди Введение в исследование операций / Таха Хемди – [7-е изд.]. Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2005. – 902 с.
5. Аленфельд Г. Введение в интервальные вычисления / Г. Аленфельд, Ю. Херцбергер – М: Мир, 1987, – 360 с.

*Куземко Сергей Михайлович* – к. т. н., доц. кафедры вычислительной техники, kuzemko@yandex.ru.

*Мельничук Владимир Николаевич* – студент пятого курса.  
Винницкий национальный технический университет.