

## ОЦЕНИВАНИЕ МНОГОФАКТОРНЫХ РИСКОВ В УСЛОВИЯХ КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

**Ключевые слова:** метод анализа иерархий, нечеткие экспертные оценки, многофакторные риски, риск субъективности экспертных оценок, методика BOCR

### ВВЕДЕНИЕ

Создание и управление сложными системами в условиях концептуальной неопределенности [1–3] осуществляется на основе рационального объединения возможностей человека-эксперта и использования современных объективных знаний и научного инструментария. Это является следствием того, что в проблемах преодоления недостатка или принципиальной невозможности получения необходимых статистических данных для решения задач управления экономическими, социальными, экологическими и другими процессами единственным источником информации может оказаться опыт и знания людей, экспертов в рассматриваемой области.

Также существенно возрастает сложность анализа и принятия решений в задачах оценивания рисков и своевременного предотвращения аварий и катастроф современных сложных технических систем различного назначения [4].

Природа риска [1] в задачах анализа рисков и принятия решений обусловлена действием следующих групп факторов:

- 1) субъективность экспертной информации (информационный риск);
- 2) риск непрогнозируемых ситуаций, вызванный ситуационной неопределенностью;
- 3) форс-мажорный риск.

В данной работе вводятся показатели информационного риска при точечных, интервальных или нечетких экспертных оценках, а также при установленном законе распределения оценок экспертов. Предлагается подход к решению задач системного многокритериального распознавания, классификации и ранжирования ситуаций риска непрогнозируемых ситуаций и форс-мажорного риска [1] с использованием модифицированной методики BOCR (benefits, opportunities, costs, risks) метода анализа иерархий (МАИ) [5, 6], позволяющей интегрировать оценивание риска непрогнозируемых ситуаций и форс-мажорного риска в общую структуру принятия решений с помощью МАИ наряду с оцениванием факторов доходов, затрат и возможностей каждого альтернативного варианта решения.

### ПРИМЕНЕНИЕ МАИ ПРИ ОЦЕНИВАНИИ ИНФОРМАЦИОННОГО РИСКА

Информационный риск — риск субъективности экспертной информации, обусловленный ее недостоверностью, противоречивостью, неоднозначностью, неполнотой в зависимости от разных вариантов формирования экспертных оценок.

Рассмотрим следующие варианты формирования экспертных оценок:

- 1) точечные;
- 2) интервальные;

- 3) нечеткие;
- 4) закон распределения оценок экспертов на интервалах оценивания.

Одним из методов, который может использоваться в условиях концептуальной неопределенности при принятии решений относительно инновационных задач, является МАИ [5, 6]. Он позволяет определить относительные веса (приоритеты, вероятности) альтернативных вариантов решений (сценариев), базируясь на экспертных оценках парных сравнений элементов задачи относительно множества критериев.

В настоящей работе вводятся показатели информационного риска при использовании МАИ с приведенными выше вариантами формирования экспертных оценок (рис. 1).



Рис. 1

**1. Точечные оценки экспертов.** В этом случае ошибки в суждениях предполагаются несуществующими или несущественными. Неоднозначность начальных данных отсутствует, и оценки можно представить в виде скалярных значений. Точечные оценки обрабатываются детерминированными методами, и результатом работы метода также являются точечные значения весов. Такое предположение, конечно, упрощает реальность, поскольку, как известно, эксперт не в состоянии дать точную оценку в виде скалярного значения. Однако детерминированные методы обработки экспертных оценок относительно простые в применении.

Одними из показателей информационного риска при этом варианте формирования экспертных оценок являются показатели согласованности, которые классифицируются следующим образом:

- **эмпирические:** отношение согласованности  $CR$  [5, 6], гармоническое отношение согласованности  $HCR$  [7], геометрический индекс согласованности  $GCI$  [8];
- **теоретический** — спектральный коэффициент согласованности [9].

Если предоставленная экспертами информация не содержит противоречий и согласована, то эмпирические показатели согласованности равны нулю, а спектральный коэффициент равен единице. Если же в оценках экспертов имеются противоречия, то эмпирические показатели — положительные величины, бо́льшие значения которых свидетельствуют о более высоком уровне несогласо-

вания. При значениях эмпирических показателей согласованности, превышающих установленные для них пороги, считается, что экспертная информация имеет слишком высокий уровень противоречивости и не может использоваться в процессе принятия решения. Большие значения спектрального коэффициента согласованности, наоборот, свидетельствуют о большей согласованности экспертных оценок.

Рассмотрим МПС  $A = \{(a_{ij}) | i, j = 1, \dots, n\}$ , построенную по результатам экспертного оценивания. Кратко опишем каждый из перечисленных выше показателей согласованности.

- **Отношение согласованности** [5]  $CR(n) = \frac{CI(n)}{MRCI(n)}$ , где  $CI(n) = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$  — индекс согласованности  $A$ ,  $\lambda_{\max}$  — максимальное собственное число  $A$ ,  $MRCI(n)$  — среднее значение индексов согласованности для заполненных случайным образом МПС.  $CR(n) = 0$  тогда и только тогда, когда  $A$  согласована. Пороговые значения  $CR$  при  $n = 3, 4, \geq 5$  составляют 0,05; 0,08 и 0,1 соответственно.

- **Гармоническое отношение согласованности** [7]  $HCR(n) = \frac{HCI(n)}{HRCI(n)}$ , где  $HCI(n) = (HM(s) - n)(n + 1) / n(n - 1)$  — гармонический индекс согласованности  $A$ ,  $HM(s) = n \left( \sum_{k=1}^n s_k^{-1} \right)^{-1}$  — гармоническая средняя множества  $s = \{s_k | k \in [1; n]\}$ ,

$s_k = \sum_{i=1}^n \hat{a}_{ik}$  — сумма  $k$ -го столбца  $A$ ,  $HRCI(n)$  — среднее значение гармонических индексов согласованности для заполненных случайным образом МПС.

Гармоническое отношение согласованности  $HCR$  — аппроксимация отношения согласованности  $CR$  при использовании метода аддитивной нормализации нахождения весов, поэтому пороговые значения для  $HCR$  установлены такие же, как и для  $CR$ . При этом  $HCR(n) = 0$  тогда и только тогда, когда  $A$  согласована.

- **Геометрический индекс согласованности** [8]

$$GCI(n) = \frac{S}{d.f.} = \frac{2}{(n-1)(n-2)} \sum_{i < j} \log^2 e_{ij},$$

где  $e_{ij} = a_{ij} v_j / v_i$  — ошибка аппроксимации отношения весов  $v_i / v_j$ , вычисленных методом средней геометрической, с помощью  $a_{ij}$ ,  $S$  — квадрат расстояния между  $\log a_{ij}$  и  $\log(v_i / v_j)$ ,  $d.f.$  (degree of freedom) — количество степеней свободы, равняется разности количества оценок  $n(n-1)/2$  и количества оцениваемых параметров  $n-1$ .

Поскольку математическое ожидание  $E(GCI)$  геометрического индекса согласованности для заполненных случайным образом МПС (при условии, что элементы МПС имеют одинаковое распределение, независимы и обратносимметричны) — величина постоянная, равная  $E(GCI) = \text{Var}(\log a_{ij})$ , то пороговые значения для  $GCI$  определяются на основании связи между  $GCI$  и  $CR$  в области, где оценки экспертов допустимы (табл. 1).

**Таблица 1.** Пороговые значения  $GCI$  для разных значений отношения согласованности  $CR$  и размерности  $n$  МПС

$CR$	Пороговое значение $GCI$		
	$n = 3$	$n = 4$	$n \geq 5$
0,01	0,0314	0,0352	0,037
0,05	0,1573	0,1763	0,185
0,01	0,3147	0,3526	0,37
0,15	0,4720	0,5289	0,555

• **Спектральный коэффициент согласованности** [9]  $k_c = \inf_{h=1, \dots, n} k_c(R_h)$ ,

где  $k_c(R_h)$  — спектральный коэффициент согласованности для спектра  $R_h$ ,  $R_h$  — спектр, построенный для множества оценок весов, полученных из матриц, порожденных отдельными строками (столбцами)  $A$ ,  $h=1, \dots, n$ .

Значение коэффициента согласованности  $k_c(E)$  для спектра  $E$  вычисляется по формуле

$$k_c(E) = \left( 1 - \frac{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^q r_j |j-a| - \sum_{j=1}^q \frac{r_j}{n} \ln \frac{r_j}{n}}{G \sum_{j=1}^q \left| j - \frac{q+1}{2} \right| + \ln q} \right)^z,$$

где  $E = \{r_j\}$ ,  $q$  — количество делений шкалы,  $r_j$  — количество оценок весов, аппроксимированных с помощью  $j$ -го деления шкалы,  $j=1, \dots, q$ ,  $a$  — средняя арифметическая множества оценок весов,  $G$  — масштабный коэффициент,  $z$  — булева функция, которая задает необходимые и достаточные условия равенства нулю спектрального коэффициента согласованности  $k_c(E)$ .

Для того чтобы ответить на вопрос, приемлем ли уровень несогласованности множества экспертных оценок, полученное значение  $k_c$  сравнивается с так называемым порогом применения  $T_u$  [9]. Несогласованность МПС допустима при  $k_c \geq T_u$ . Для согласованной МПС  $k_c = 1$ . Еще одним показателем информационного риска предлагается считать чувствительность так называемых критических элементов иерархии. Элемент иерархии называется критическим, если изменение его веса, которое приводит к изменению порядка ранжирования альтернатив, наименьшее [10].

Рассмотрим еще некоторые определения, введенные в работе [10] при описании комплексной методологии оценивания чувствительности решения, полученного МАИ.

Элемент называется устойчивым, если никакие допустимые изменения его веса не изменяют рангов альтернатив. Если элемент устойчивый, то его значение чувствительности равняется нулю.

Чувствительностью элемента называется величина, обратная степени критичности данного элемента, т.е. величине наименьшего относительного изменения веса данного элемента, изменяющего порядок ранжирования альтернатив.

В [10] получены аналитические выражения для нахождения величин относительных изменений весов элементов иерархии, изменяющих порядок ранжирования альтернатив.

**2. Интервальные или нечеткие оценки экспертов.** Будем рассматривать эти два варианта вместе, поскольку работу с нечеткими оценками можно свести к рассмотрению интервалов путем декомпозиции нечеткого числа на множества уровней.

Одним из показателей информационного риска при этом варианте формирования оценок экспертов, как и в случае точечных оценок, является показатель со-

гласованности. Авторы предложили новый показатель согласованности интервальных оценок экспертов — интервальный спектральный коэффициент согласованности [11], который является обобщением на случай интервальных оценок введенного в работе [9] спектрального коэффициента согласованности.

Показателями риска для данного варианта формирования оценок экспертов являются также степени выполнений строгого преобладания и эквивалентности одного интервального (нечеткого) числа над другим [11].

• Степень выполнения  $p(w_i^{\text{He}^\pm} > w_j^{\text{He}^\pm})$  строгого преобладания нечеткого веса  $w_i^{\text{He}^\pm}$  над нечетким весом  $w_j^{\text{He}^\pm}$  определим как  $p(w_i^{\text{He}^\pm} > w_j^{\text{He}^\pm}) = v_s(w_i^{\text{He}^\pm}, w_j^{\text{He}^\pm})$ , где  $v_s(w_i^{\text{He}^\pm}, w_j^{\text{He}^\pm})$  — функция принадлежности нечеткого отношения строгого предпочтения  $V_s$  на множестве нечетких весов  $w^{\text{He}^\pm}$ :

$$v_s(w_i^{\text{He}^\pm}, w_j^{\text{He}^\pm}) = v_s(w_i^{\text{He}^\pm} > w_j^{\text{He}^\pm}) = \begin{cases} v(w_i^{\text{He}^\pm} \geq w_j^{\text{He}^\pm}) - v(w_j^{\text{He}^\pm} \geq w_i^{\text{He}^\pm}), & v(w_i^{\text{He}^\pm} \geq w_j^{\text{He}^\pm}) > v(w_j^{\text{He}^\pm} \geq w_i^{\text{He}^\pm}), \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

• Степень выполнения  $p(w_i^{\text{He}^\pm} \geq w_j^{\text{He}^\pm})$  нестрогого преобладания нечеткого веса  $w_i^{\text{He}^\pm}$  над нечетким весом  $w_j^{\text{He}^\pm}$  определим как  $p(w_i^{\text{He}^\pm} \geq w_j^{\text{He}^\pm}) = v(w_i^{\text{He}^\pm}, w_j^{\text{He}^\pm})$ , где  $v(w_i^{\text{He}^\pm}, w_j^{\text{He}^\pm})$  — функция принадлежности нечеткого отношения нестрогого предпочтения  $V$  на множестве нечетких весов  $w^{\text{He}^\pm}$ :  $v(w_i^{\text{He}^\pm}, w_j^{\text{He}^\pm}) = v(w_i^{\text{He}^\pm} \geq w_j^{\text{He}^\pm}) = \sup_{\substack{x, y \in \mathbb{R}, \\ x \geq y}} (\min(\mu_{w_i}(x), \mu_{w_j}(y)))$ .

• Степень выполнения  $p(w_i^{\text{He}^\pm} \sim w_j^{\text{He}^\pm})$  эквивалентности нечетких весов  $w_i^{\text{He}^\pm}$  и  $w_j^{\text{He}^\pm}$  определим как  $p(w_i^{\text{He}^\pm} \sim w_j^{\text{He}^\pm}) = v_e(w_i^{\text{He}^\pm}, w_j^{\text{He}^\pm})$ , где  $v_e(w_i^{\text{He}^\pm}, w_j^{\text{He}^\pm})$  — функция принадлежности нечеткого отношения эквивалентности  $V_e$  на множестве нечетких весов  $w^{\text{He}^\pm}$ :  $v_e(w_i^{\text{He}^\pm}, w_j^{\text{He}^\pm}) = v_e(w_i^{\text{He}^\pm} \sim w_j^{\text{He}^\pm}) = \min [v(w_i^{\text{He}^\pm} \geq w_j^{\text{He}^\pm}), v(w_j^{\text{He}^\pm} \geq w_i^{\text{He}^\pm})]$ .

Введенные степени выполнения вместе с результатами анализа согласованности интервальной (нечеткой) экспертной информации позволяют оценить степень доверия к полученным весам и ранжированию, которое строится на их основе.

### 3. Закон распределения оценок экспертов на интервалах оценивания.

В этом случае предполагается, что оценки имеют стохастическую природу, и для работы с ними используются специальные методы, например стохастические, которые являются модификациями МАИ с априорно заданными распределениями вероятностей оценок экспертов.

Преимущество стохастических МАИ по сравнению с детерминированными аналогами заключается в возможности проверки гипотез относительно равенства в статистическом смысле рангов альтернативных вариантов решений и определении вероятностей ранжирований и появления реверса рангов между альтернативами. Эти вероятности — показатели информационного риска при данном варианте формирования экспертной информации.

## МОДИФИЦИРОВАННАЯ МЕТОДИКА ВОСР ОЦЕНИВАНИЯ СИТУАЦИОННЫХ И ФОРС-МАЖОРНЫХ РИСКОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ И ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЯ

Методика ВОСР оценки доходов, возможностей, затрат и рисков на базе МАИ предложена Т. Саати [5, 6] и позволяет определить взаимосвязи между рисками непрогнозируемых ситуаций, форс-мажорными рисками, которые могут возникнуть в процессе функционирования сложной системы, определить влияние различных факторов на результативность принятия решений относительно сложных систем, используя оценки ЛПР и коллектива специалистов разных профилей.

Недостаток этой методики — возможность обработки лишь точечных оценок экспертов. В связи с этим в данной работе предлагается модификация ВОСР, позволяющая обрабатывать экспертные оценки в виде нечетких отношений предпочтений на множестве факторов и альтернативных вариантов решения.

Приведем модификацию ВОСР.

**Этап 1.** Определяется период  $T^\pm$  для принятия решения. Он задается как объективными факторами необходимости принятия решения до наступления некоторого критического момента, так и субъективной оценкой ЛПР соответствующего уровня информированности. Наблюдение процесса принятия решения во времени состоит в необходимости пересмотра иерархических структур относительно доходов, затрат, возможностей и рисков на протяжении установленного временного ресурса  $T^\pm$ .

**Этап 2.** Определяются главная цель  $G = \{g\}$  принятия решения в конкретной практической задаче, альтернативные варианты решений  $A^\tau = \{A_i^\tau \mid i \in [1; N_a^\tau]\}$  и факторы  $F^\tau = \{F_j^\tau \mid j \in [1; N_f^\tau]\}$ , влияющие на главную цель для реального момента времени  $T_\tau \in T^\pm$ .

**Этап 3.** Классификация  $F^\tau$  на четыре группы факторов:

- доходы  $F_B^\tau$  в результате принятия решения (достижение главной цели),  $F_B^\tau = \{F_{B_j}^\tau \mid j \in [1; N_B^\tau]\}$ ;
- затраты  $F_C^\tau$  для достижения главной цели,  $F_C^\tau = \{F_{C_j}^\tau \mid j \in [1; N_C^\tau]\}$ ;
- возможности  $F_O^\tau$  — неопределенные возможные доходы, полученные в результате принятия решения,  $F_O^\tau = \{F_{O_j}^\tau \mid j \in [1; N_O^\tau]\}$ ;
- ситуационные и форс-мажорные риски  $F_R^\tau$ , которые влияют на процесс и результат принятия решения,  $F_R^\tau = \{F_{R_j}^\tau \mid j \in [1; N_R^\tau]\}$ .

В итоге строится отдельно четыре иерархии:  $H_B^\tau, H_C^\tau, H_O^\tau, H_R^\tau$  для факторов доходов, затрат, возможностей и рисков соответственно. Первые уровни этих иерархий создают соответственно факторы  $F_B^\tau, F_C^\tau, F_O^\tau, F_R^\tau$  рассматриваемых качеств. Признаки, которыми характеризуются факторы, образуют следующие уровни соответствующих иерархий. Количество  $p_R^\tau$  уровней в иерархии рисков;  $N_{R_k}^\tau$  — количество элементов  $k$ -го уровня иерархии рисков;  $R_k \in [1; p_R^\tau]$ ;  $p_B^\tau, p_C^\tau$  и  $p_O^\tau$  — количество уровней соответственно в иерархиях доходов, затрат и возможностей;  $N_{B_k}, N_{C_k}, N_{O_k}$  — количество элементов  $k$ -го уровня иерархий доходов, затрат и возможностей,  $B_k \in [1; p_B^\tau]$ ,  $C_k \in [1; p_C^\tau]$ ,  $O_k \in [1; p_O^\tau]$  аналогично.



**Этап 4.** Выполняются парные сравнения элементов каждой из четырех иерархий: доходов, затрат, возможностей и рисков. Эксперты дают оценки в виде нечетких отношений предпочтений в предложенной шкале. При этом во время сравнения элементов иерархий доходов и возможностей вопросы ставятся следующим образом: «Какой из элементов принесет больший доход (имеет больше возможностей)?» Для сравнения элементов иерархии затрат (рисков) вопрос ставится относительно того, какой из элементов более затратный (рискованный).

**Этап 5.** Определяются нечеткие относительные веса элементов каждой из иерархий доходов, затрат, возможностей и рисков.

$w_{R_k}^\tau = \{w_{R_{kj}}^\tau | j \in [1; N_{R_k}^\tau]\}$  — вектор весов элементов  $k$ -го уровня иерархии рисков в момент времени  $T_\tau \in T^\pm$ ,  $w_{B_k}^\tau = \{w_{B_{kj}}^\tau | j \in [1; N_{B_k}^\tau]\}$ ,  $w_{C_k}^\tau = \{w_{C_{kj}}^\tau | j \in [1; N_{C_k}^\tau]\}$ ,  $w_{O_k}^\tau = \{w_{O_{kj}}^\tau | j \in [1; N_{O_k}^\tau]\}$  — векторы весов элементов  $k$ -го уровня соответственно иерархий доходов, затрат и возможностей в момент времени  $T_\tau \in T^\pm$ . Векторы весов  $w_{B_k}^\tau, w_{C_k}^\tau, w_{O_k}^\tau, w_{R_k}^\tau$  нечеткие и рассчитываются с помощью методологии обработки нечеткой экспертной информации на базе МАИ [11, 12].

**Этап 6.** Выбираются контрольные признаки — элементы последних уровней иерархий доходов, затрат, возможностей и рисков, которые характеризуются значимыми относительными весами. Для их нахождения устанавливается порог значимости весов: если вес элемента последнего уровня превышает порог, то этот элемент является контрольным признаком. Таким образом из рассмотрения исключаются те факторы, которые незначительно влияют на главную цель.

Контрольные признаки иерархии рисков в момент времени  $T_\tau \in T^\pm$   $e_R^\tau = \{e_{R_j}^\tau | j \in [1; N_R^{\text{contr } \tau}]\}$ . Аналогично  $e_B^\tau = \{e_{B_j}^\tau | j \in [1; N_B^{\text{contr } \tau}]\}$ ,  $e_C^\tau = \{e_{C_j}^\tau | j \in [1; N_C^{\text{contr } \tau}]\}$ ,  $e_O^\tau = \{e_{O_j}^\tau | j \in [1; N_O^{\text{contr } \tau}]\}$  — контрольные признаки иерархий доходов, затрат и возможностей.

**Этап 7.** Определяются нечеткие относительные веса альтернативных вариантов по каждому из контрольных признаков:

- строится  $N^{\text{contr } \tau} = N_B^{\text{contr } \tau} + N_C^{\text{contr } \tau} + N_O^{\text{contr } \tau} + N_R^{\text{contr } \tau}$  иерархий, вершинами которых являются контрольные признаки доходов, затрат, возможностей и рисков; последние уровни этих иерархий формируют альтернативные варианты решений  $A^\tau = \{A_i^\tau | i \in [1; N_a^\tau]\}$ ; другие уровни содержат акторов (лиц, заинтересованных в принятии или непринятии решения), их цели, подцели, планы и т.п.;
- эксперты дают нечеткие оценки парных сравнений элементов иерархий;
- вычисляются нечеткие относительные веса альтернатив по контрольным признакам рисков:  $w_{R_i}^{\text{alt } \tau} = \{w_{R_i}^{\text{alt } \tau} | i \in [1; N_a^\tau]\}$ ,  $w_{R_i}^{\text{alt } \tau} = \{w_{R_{ij}}^{\text{alt } \tau} | j_R \in [1; N_R^{\text{contr } \tau}]\}$ . Аналогично  $w_B^{\text{alt } \tau} = \{w_{B_i}^{\text{alt } \tau} | i \in [1; N_a^\tau]\}$ ,  $w_C^{\text{alt } \tau} = \{w_{C_i}^{\text{alt } \tau} | i \in [1; N_a^\tau]\}$  и  $w_O^{\text{alt } \tau} = \{w_{O_i}^{\text{alt } \tau} | i \in [1; N_a^\tau]\}$  — нечеткие относительные веса альтернатив по контрольным признакам доходов, затрат и возможностей. Для нахождения весов  $w_{B_{ij}}^{\text{alt } \tau}, w_{C_{ij}}^{\text{alt } \tau}, w_{O_{ij}}^{\text{alt } \tau}, w_{R_{ij}}^{\text{alt } \tau}$  (локальных весов),  $i \in [1; N_a^\tau], j_B \in [1; N_B^{\text{contr } \tau}], j_C \in [1; N_C^{\text{contr } \tau}], j_O \in [1; N_O^{\text{contr } \tau}], j_R \in [1; N_R^{\text{contr } \tau}]$  предлагается использовать разработанную авторами методологию обработки нечеткой экспертной информации на базе МАИ [11, 12].

**Этап 8.** Определяются глобальные нечеткие веса  $w_B^{alt \tau}$ ,  $w_C^{alt \tau}$ ,  $w_O^{alt \tau}$ ,  $w_R^{alt \tau}$  альтернативных вариантов решений относительно доходов, затрат, возможностей и рисков путем проведения агрегирования найденных на этапе 7 нечетких относительных весов альтернатив по контрольным признакам доходов, затрат, возможностей и рисков. Для этого Т. Саати предлагает использовать отношение доходов к затратам или один из методов адитивного синтеза [5]. Но так как методы адитивного синтеза имеют общеизвестные недостатки, для агрегирования используется разработанный авторами метод нечеткого мультипликативного синтеза [11].

**Этап 9.** Определяются стратегические факторы и их нечеткие относительные веса. Они используются для оценивания важности самих качеств (доходов, затрат, возможностей и рисков) в данной конкретной задаче принятия решений:

- строится иерархия для стратегических факторов;
- эксперты дают нечеткие оценки парных сравнений элементов иерархии;
- вычисляются нечеткие веса стратегических факторов с помощью методологии обработки нечеткой экспертной информации на базе МАИ [11, 12].

**Этап 10.** Оцениваются интенсивности качеств (доходов, затрат, возможностей и рисков) по элементам последнего уровня иерархии стратегических факторов. Под интенсивностью элемента в данном контексте понимается степень его выполнения относительно фактора. Например, интенсивности могут принимать значения из множества (очень высокая, высокая, средняя, низкая, очень низкая). Используя нечеткий МАИ, в итоге определяем нечеткие относительные веса  $w_B^{\tau}$ ,  $w_C^{\tau}$ ,  $w_O^{\tau}$ ,  $w_R^{\tau}$  доходов, затрат, возможностей и рисков.

**Этап 11.** Вычисляются глобальные веса  $w^{alt \tau} = \{w_i^{alt \tau} | i \in [1; N_a^{\tau}]\}$  альтернативных вариантов относительно главной цели принятия решения при известных весах  $w_B^{alt \tau}$ ,  $w_C^{alt \tau}$ ,  $w_O^{alt \tau}$ ,  $w_R^{alt \tau}$  альтернативных вариантов решений относительно каждого из четырех качеств, а также весах самих качеств  $w_B^{\tau}$ ,  $w_C^{\tau}$ ,  $w_O^{\tau}$ ,  $w_R^{\tau}$  методом нечеткого мультипликативного синтеза.

Схема взаимосвязей между объектом, целями и предложенным аппаратом исследования приведена на рис. 2.

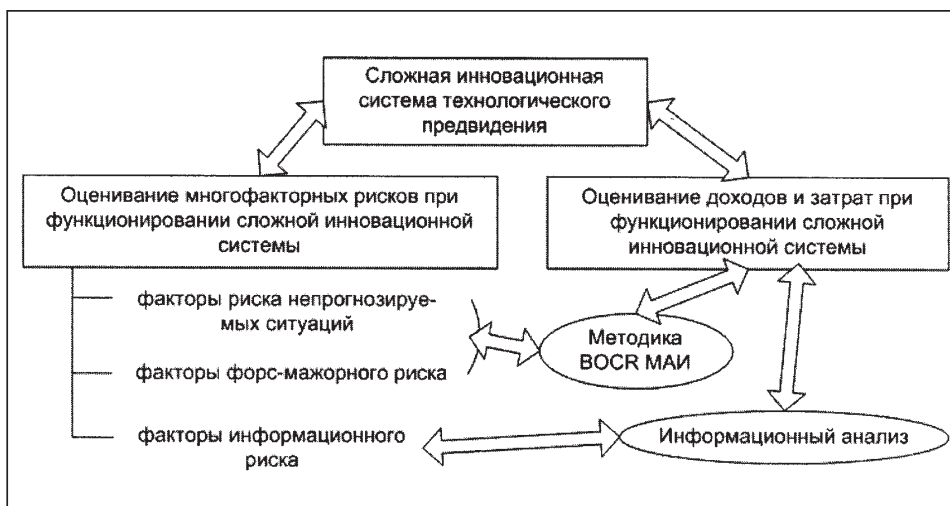


Рис. 2





**Этап 12.** Выполняется ранжирование нечетких глобальных весов альтернативных вариантов решений и оценивается степень доверия к полученному ранжированию. Для этого используется метод определения подмножеств недоминируемых нечетких весов [11] и вычисляются степени строгого преобладания и эквивалентности весов в полученном ранжировании.

Таким образом, вычислены нечеткие веса альтернативных вариантов и получено их ранжирование на данный момент. Если рассматриваемый момент времени не равен критическому, то осуществляется переход на этап 2. Иначе решение, полученное на этапе 12, является окончательным.

**ПРИМЕР ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ ВОСР ОЦЕНИВАНИЯ СИТУАЦИОННЫХ И ФОРС-МАЖОРНЫХ РИСКОВ ПРИ ВЫБОРЕ ВАРИАНТОВ РЕШЕНИЯ ПЕРВООЧЕРЕДНЫХ ПРОБЛЕМ Г. КИЕВА**

Институт прикладного системного анализа выполнил работу для Киевской мэрии по моделированию сценариев решения главных проблем г. Киева. Рассмотрим один из этапов этой работы, состоящий в выборе вариантов решения первоочередных проблем города с использованием методики ВОСР оценивания ситуационных и форс-мажорных рисков, возможностей, факторов доходов и затрат.

Иерархия рисков, построенная экспертами из мэрии, приведена на рис. 3. Она включала риски нестабильности экономики, возникновения чрезвычайных ситуаций, политической нестабильности, возрастания социальной напряженности. Контрольными признаками выбраны следующие элементы иерархии рисков: ограниченность мощностей по переработыванию и складированию отходов, значительное загрязнение источников водоснабжения, ухудшение состояния здоровья населения, низкий уровень доходов широких слоев населения, рост стоимости энергоносителей, транспорт.

Стратегические факторы для определения важности качеств: доходы, затраты, возможности и риски, включали рост, стабильность и социальную ориентированность экономики, региональную безопасность и угрозы для г. Киева, а также такие политические факторы, как отечественные избиратели, Европа и мир (рис. 4).

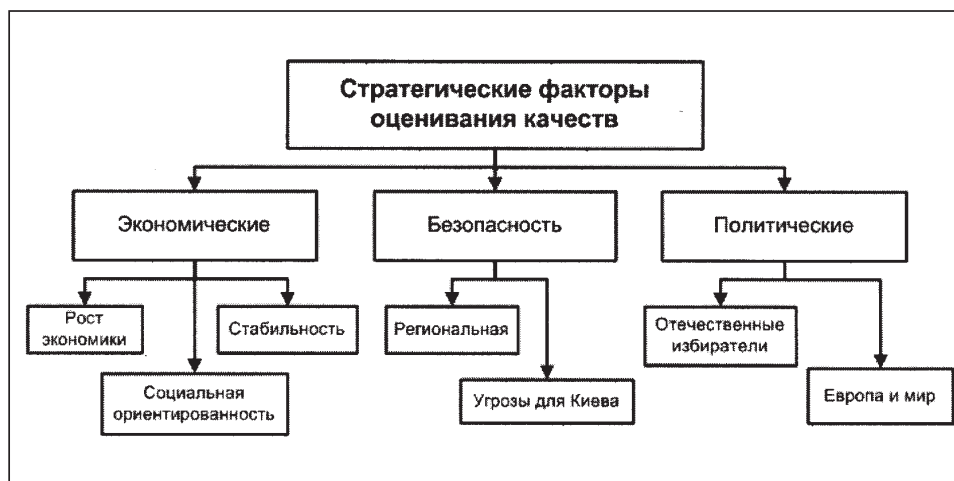


Рис. 4

В результате получены веса каждого из проектов, приведенных на последнем уровне иерархии на рис. 3. Установлено, что первоочередными для реализации являются проекты построения двух мусороперерабатывающих заводов, второй нити Главного канализационного коллектора и реконструкция Бортницкой

станции аэрации. Второе место по приоритетности получили проекты строительства и реконструкции линий метрополитена; остальные мероприятия — на третьем месте.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложен инструментарий для оценивания многофакторных рисков в процессе технологического предвидения действий сложной инновационной системы.

Исследованы следующие группы факторов риска: ситуационные, форс-мажорные и информационные, обусловленные субъективностью экспертной информации (см. рис. 2). Первые две группы факторов, т.е. риск непрогнозируемых ситуаций и форс-мажорный риск, предлагается оценивать с помощью модифицированной методики ВОСР МАИ на базе нечетких оценок экспертов. Предлагается использовать МАИ и для оценивания информационного риска. Разработана система показателей его оценивания при разных вариантах формирования экспертных оценок, а именно: при точечных, интервальных и нечетких оценках, а также при известном вероятностном законе распределения оценок экспертов (см. рис. 1).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Згуровский М.З., Панкратова Н.Д. Системный анализ: проблемы, методология, приложения. — Киев: Наук. думка, 2005. — 743 с.
2. Згуровский М.З., Панкратова Н.Д. Технологическое предвидение. — Киев: Политехника. — 2005. — 165 с.
3. Панкратова Н.Д. Рациональный компромисс в системной задаче концептуальной неопределенности // Кибернетика и системный анализ. — 2002. — № 4. — С. 162–180.
4. Pankratova N., Kurilin B. Conceptual foundations of the system analysis of risks in dynamics of control of complex system safety. Part 2. The general problem of the system analysis of risks and the strategy of its solving. // J. of Automat. and Inform. Scie. — 2001. — 33, N 4. — P. 1–14.
5. Saaty Th. Theory of the Analytic Hierarchy Process. Part 2.1 // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2003. — № 1. — С. 48–72.
6. Saaty Th. Theory of the analytic hierarchy and analytic network processes-examples, Part 2.2 // Там же. — 2003. — N 2. — С. 7–34.
7. Stein W.E., Mizzi P.J. The harmonic consistency index for the analytic hierarchy process // Europ. Journ. of Oper. Res. — 2007. — 177. — P. 488–497.
8. Aguaron J., Moreno-Jimenez J.M. The geometric consistency index: Approximated thresholds // Ibid. — 2003. — 147. — P. 137–145.
9. Тоценко В.Г. Методы и системы поддержки принятия решений. Алгоритмический аспект. — Киев: Наук. думка, 2002. — 381 с.
10. Панкратова Н.Д., Недашківська Н.І. Комплексне оцінювання чутливості рішення на основі методу аналізу ієрархій // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2006. — № 3. — С. 7–25.
11. Pankratova N.D., Nedashkovskaya N.I. Method for Processing Fuzzy Expert Information in Prediction Problems. Part II // J. of Automat. and Inform. Scie. — 2007. — 39, N 6. — P. 30–44.
12. Pankratova N.D., Nedashkovskaya N.I. Method for Processing Fuzzy Expert Information in Prediction Problems. Part I // Ibid. — 2007. — 39, N 4. — P. 22–36.

*Поступила 24.04.2007*