

## ДВА ПОДХОДА К ОЦЕНКЕ СТРАНОВОГО РИСКА

\*Институт систем управления НАНА, г. Баку, Азербайджан

---

**Анотація.** Розглядаються два підходи до оцінки рівнів ризику країни, засновані на методі зважених коефіцієнтів оціночних ознак і механізмі нечіткого виведення. На основі експертних висновків на предмет впливу факторів на рівень ризику країни посередництвом цих методів отримані підсумкові оцінки рівнів ризику країни для довільного набору альтернатив і проведений їх порівняльний аналіз.

**Ключові слова:** ризик країни, коефіцієнт конкордації, експертна оцінка, нечітка безліч, нечіткий висновок.

**Аннотация.** Рассматриваются два подхода к оценке уровней странового риска, основанные на методе взвешенных коэффициентов оценочных признаков и механизме нечёткого вывода. На основе экспертных заключений на предмет влияния факторов на уровень странового риска посредством этих методов получены итоговые оценки уровней странового риска для произвольного набора альтернатив и проведён их сравнительный анализ.

**Ключевые слова:** страновой риск, коэффициент конкордации, экспертная оценка, нечёткое множество, нечёткий вывод.

**Abstract.** Two approaches to assessment of the country risk levels applied at weighted attributes of evaluative dimensions and fuzzy inference methods are considered. To obtain the final estimates of the country risk levels for an arbitrary set of alternatives these approaches are used on the base of expert conclusions regarding factors of country risk. The study is completed by comparative analysis of finale estimates of country risks.

**Keywords:** country risk, concordance coefficient, expert estimate, fuzzy set, fuzzy conclusion.

### 1. Введение

Наряду с форсмажорными ситуациями страновые риски несут в себе опасность политического, правового и социально-экономического характера. Поэтому для гарантированной защиты от подобного рода угроз необходимо учитывать экономико-политическую ситуацию в общей совокупности (особенно, на развивающихся рынках), что, собственно, и предопределило введение в обращение понятия «страновой риск». Страновой риск (СР) – это многофакторная категория, которая характеризуется комбинированной системой финансово-экономических, социально-политических и правовых факторов, коими отличается рынок любой страны [1]. С помощью количественных оценок СР осуществляется ранжирование стран по степени СР, который включает в себя следующие этапы: 1) отбор финансово-экономических, социально-политических и правовых переменных СР; 2) идентификация весов выбранных переменных СР, исходя из их относительного влияния на уровень СР; 3) экспертная оценка факторов СР с применением экспертной шкалы; 4) определение взвешенного индекса, отражающего уровень СР. В настоящее время ранжированием стран по уровню СР занимаются многочисленные мировые рейтинговые агентства и международные институты, такие как Euromoney, Institutional Investor, Mood's Investor Service, Европейский банк реконструкции и развития (ЕБРР), Мировой банк (МБ) и др. При этом существующие подходы обуславливаются качественными и/или количественными, экономическими, комбинированными и структурно-качественными методами оценки СР.

## 2. Постановка задачи

Пусть  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  – совокупность переменных, оказывающих существенное влияние на уровень СР. Выбор этих переменных согласуется  $m$  экспертами, каждый из которых формирует ранговую оценку исследуемого  $i$ -го фактора ( $i = 1 \div n$ ) в виде  $r_{ij}$  ( $j = 1 \div m$ ) и нормированное значение оценки переменной в виде  $\alpha_{ij}$ , так что  $\alpha_{i1} + \alpha_{i2} + \dots + \alpha_{im} = 1$ . Тогда оценки переменных  $x_i$  ( $i = 1 \div n$ ) осуществим двумя методами: сравнительную качественную оценку признака – методом простого ранжирования (или методом предпочтений экспертов), и количественную оценку весов  $x_i$  ( $i = 1 \div n$ ) – методом задания весовых коэффициентов (нормированных значений). Исходя из этих предпосылок, определим степень согласованности экспертных оценок относительно приоритетности  $x_i$  ( $i = 1 \div n$ ), их обобщённые веса и иницируем суммарный индекс в пределах от 0% до 100%.

Для компиляции суммарного индекса на основе качественных характеристик факторов, оказывающих относительное влияние на уровень СР, необходимо адаптировать нечёткую модель для многокритериальной оценки уровня риска посредством применения механизма нечёткого логического вывода.

## 3. Формирование списка факторов СР

Для демонстрации предлагаемых методов оценки СР был остановлен выбор на достаточно ограниченном списке факторов риска, которым пользуется аудиторская компания Pricewaterhouse Coopers при составлении рейтингов инвестиционной привлекательности государств [1]. А именно:  $x_1$  – уровень коррупции,  $x_2$  – соответствие законодательства,  $x_3$  – уровень развития экономики,  $x_4$  – политика государства по учёту и контролю,  $x_5$  – государственное регулирование. Тестирование и сравнительный анализ адекватности предлагаемых подходов осуществим на гипотетическом примере группы стран, которые условно обозначим как  $a_1, a_2, \dots, a_{15}$ . С точки зрения принятия решений на предмет оценки инвестиционной привлекательности, эти государства представляют собой альтернативы, уровень СР которых оценивается по вышеуказанным переменным:  $x_1, x_2, \dots, x_5$ .

## 4. Ранжирование переменных СР в порядке предпочтений экспертов

Предположим, что путём независимого анкетирования 15-ти профильных специалистов определены экспертные оценки степеней важности факторов СР  $x_i$  ( $i = 1 \div 5$ ). Каждому эксперту предлагалось расположить переменную  $x_i$  по принципу: наиболее важную переменную обозначить цифрой «1», следующую, менее важную, – цифрой «2» и далее по убыванию степени важности. Полученные таким образом ранговые оценки сведены в табл. 1.

Таблица 1. Ранжирование переменных СР в порядке предпочтений экспертов

Эксперты п/п	Оцениваемые переменные СР и их ранговая оценка ( $r_{ij}$ )				
	Уровень коррупции	Соответствие законодательству	Уровень развития экономики	Политика учёта и контроля	Государственное регулирование
	Обозначение и индексация переменных СР $x_i$ ( $i = 1 \div 5$ )				
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$
01	1	2	4	3	5
02	1	3	2	4	5
03	2	1	5	4	3
04	1	2	4	5	3
05	2	1	3	4	5
06	1	2	4	3	5

07	2	1	4	3	5
08	1	2	4	5	3
09	1	3	2	4	5
10	1	3	2	5	4
11	1	3	4	2	5
12	1	2	3	5	4
13	2	1	4	3	5
14	3	1	2	4	5
15	1	2	5	4	3
$\sum r_{ij}$	21	29	52	55	65

Чтобы установить степень согласованности экспертных заключений, применим коэффициент конкордации Кендалла, демонстрирующий множественную ранговую корреляцию экспертных мнений. Согласно [2, 3], этот коэффициент вычисляется по формуле

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

где  $m$  – число экспертов,  $n$  – число переменных СР, а  $S$  – отклонение экспертных заключений от среднего значения ранжирования переменных СР, которое вычисляется, например, по формуле [3]

$$S = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m [r_{ij} - m(n+1)/2]^2, \quad (2)$$

где  $r_{ij} \in \{1, 2, \dots, 5\}$  – ранг  $i$ -го ФК, установленный  $j$ -ым экспертом.

В рассматриваемом случае (табл. 1) значение коэффициента конкордации Кендалла, рассчитанного по формуле (1), при величине  $S=1450$ , вычисленной на основании (2) и данных из табл. 1, будет  $W = \frac{12 \cdot 1450}{15^2 (5^3 - 5)} = 0,6444 > 0,6$ , что свидетельствует о достаточно сильной согласованности экспертных заключений относительно степеней важности  $x_i$ .

## 5. Идентификация весовых коэффициентов переменных СР

Теперь предположим, что на предварительном этапе независимого анкетирования каждому эксперту также было поручено установить значения нормированных оценок переменных СР. Результаты этого анкетирования сведены в табл. 2.

Таблица 2. Значения нормированных оценок переменных СР, установленные экспертами

№№ п/п	Нормированные значения ( $\alpha_{ij}$ )				
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$
01	0,300	0,250	0,150	0,225	0,075
02	0,350	0,175	0,200	0,150	0,125
03	0,225	0,250	0,150	0,175	0,200
04	0,275	0,250	0,175	0,100	0,200
05	0,250	0,275	0,200	0,175	0,100
06	0,300	0,250	0,150	0,200	0,100
07	0,200	0,375	0,150	0,175	0,100
08	0,325	0,300	0,150	0,025	0,200
09	0,275	0,175	0,200	0,100	0,250
10	0,300	0,200	0,250	0,100	0,150

11	0,300	0,175	0,150	0,250	0,125
12	0,300	0,250	0,200	0,100	0,150
13	0,225	0,250	0,175	0,200	0,150
14	0,200	0,300	0,250	0,150	0,100
15	0,300	0,250	0,125	0,150	0,175
$\sum \alpha_{ij}$	4,125	3,725	2,675	2,275	2,200

Отправляясь от данных, представленных в табл. 2, проведём предварительные расчёты для последующей идентификации весов переменных СР. Для этого определим групповые оценки переменных СР и числовые характеристики (степени) компетентности каждого из 15-ти экспертов. Чтобы вычислить среднюю величину  $\alpha_i$  по  $i$ -ой группе нормированных оценок переменных СР, воспользуемся взвешенными степенями компетентности экспертов разностным уравнением вида [4]

$$\alpha_i(t+1) = \sum_{j=1}^m w_j(t) \alpha_{ij}, \quad (3)$$

где  $w_j(t)$  – весовой коэффициент, характеризующий степень компетентности  $j$ -го эксперта ( $j = 1 \div m$ ) на момент времени  $t$ . В этом случае процесс нахождения групповых оценок нормированных значений носит итерационный характер, который завершается после выполнения условия [4]

$$\max_i \{|\alpha_i(t+1) - \alpha_i(t)|\} \leq \varepsilon, \quad (4)$$

где  $\varepsilon$  – допустимая точность расчётов, которая устанавливается заблаговременно. В данном случае пусть это будет  $\varepsilon = 0,0001$ .

Пусть на начальном этапе  $t=0$  эксперты обладают одинаковыми степенями компетентности. Тогда, полагая для общего случая величину  $w_j(0) = \frac{1}{m}$  начальным значением степени компетентности  $j$ -го эксперта, среднее значение по  $i$ -ой группе нормированных оценок переменных СР в 1-ом приближении получим из частного равенства:

$$\alpha_i(1) = \sum_{j=1}^m w_j(0) \alpha_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \alpha_{ij}. \quad (5)$$

В соответствии с (5) усреднёнными оценками переменных СР по группам в 1-ом приближении будут следующие соответствующие числа:  $\{\alpha_1(1); \alpha_2(1); \alpha_3(1); \alpha_4(1); \alpha_5(1)\} = \{0,27500; 0,24833; 0,17833; 0,15167; 0,14667\}$ . При этом не трудно заметить, что требование (4) для 1-го приближения не выполняется. Поэтому, чтобы перейти на следующий этап, вычислим нормирующий коэффициент  $\eta(1)$  как  $\eta(1) = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{15} \alpha_i(1) \alpha_{ij} = 3,2042$  [4].

Тогда, согласно следующим выражениям [4]:

$$\begin{cases} w_j(1) = \frac{1}{\eta(1)} \sum_{i=1}^5 \alpha_i(1) \cdot \alpha_{ij} \quad (j = \overline{1,14}), \\ w_{15}(1) = 1 - \sum_{j=1}^{14} w_j(1), \quad \sum_{j=1}^{15} w_j(1) = 1, \end{cases} \quad (6)$$

где  $w_{15}(1)$  – показатель компетентности 15-го эксперта, вычислим показатели компетентности экспертов в 1-ом приближении:  $\{w_1(1); w_2(1); w_3(1); w_4(1); w_5(1); w_6(1); w_7(1); w_8(1); w_9(1); w_{10}(1); w_{11}(1); w_{12}(1); w_{13}(1); w_{14}(1); w_{15}(1)\} = \{0,0676; 0,0676; 0,0645; 0,0666; 0,0668; 0,0675; 0,0674; 0,0698; 0,0645; 0,0668; 0,0652; 0,0679; 0,0648; 0,0660; 0,0672\}$ .

Теперь можно приступить к вычислению средней групповой оценки переменных СР во 2-ом приближении по формуле (3), а точнее по её частному выражению:

$$\alpha_i(2) = \sum_{j=1}^{15} w_j(1)\alpha_{ij}. \text{ В этом случае средними оценками переменных СР по группам } i = 1 \div 5$$

во втором приближении будут следующие числа:  $\{\alpha_1(2); \alpha_2(2); \alpha_3(2); \alpha_4(2); \alpha_5(2)\} = \{0,27547; 0,24876; 0,17821; 0,15116; 0,14640\}$ . Проверяя полученные значения на выполнение условия (4) и убедившись, что оно вновь не выполняется:  $\max\{|\alpha_i(2) - \alpha_i(1)|\} = \max\{|0,2755 - 0,2750|; |0,2488 - 0,2483|; |0,1782 - 0,1783|; |0,1512 - 0,1517|; |0,1464 -$

$$0,1467|\} = 0,0005 > \varepsilon, \text{ вычислим нормирующий коэффициент как } \eta(2) = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{15} \alpha_i(2)\alpha_{ij} = 3,2056.$$

Тогда показателями компетентности экспертов во втором приближении  $w_j(2)$  ( $j = 1 \div 15$ ) будут:  $\{w_1(2); w_2(2); w_3(2); w_4(2); w_5(2); w_6(2); w_7(2); w_8(2); w_9(2); w_{10}(2); w_{11}(2); w_{12}(2); w_{13}(2); w_{14}(2); w_{15}(2)\} = \{0,0676; 0,0676; 0,0645; 0,0666; 0,0668; 0,0675; 0,0674; 0,0699; 0,0645; 0,0668; 0,0652; 0,0679; 0,0647; 0,0660; 0,0672\}$ .

Средние групповые оценки переменных СР в 3-ем приближении получим из следующего частного случая формулы (3), а именно как  $\alpha_i(3) = \sum_{j=1}^{15} w_j(2)\alpha_{ij}$ . В этом случае сред-

ними оценками переменных СР по группам  $i = 1 \div 5$  в 3-ем приближении будут следующие числа:  $\{\alpha_1(3); \alpha_2(3); \alpha_3(3); \alpha_4(3); \alpha_5(3)\} = \{0,27547; 0,24876; 0,17821; 0,15115; 0,14640\}$ . При этом точность групповых оценок  $x_i$  ( $i = 1 \div 5$ ) в 3-ем приближении уже удовлетворяет условию (4), т.е.  $\max\{|\alpha_i(3) - \alpha_i(2)|\} = \max\{|0,27547 - 0,27547|; |0,24876 - 0,24876|; |0,17821 - 0,17821|; |0,15115 - 0,15116|; |0,1464 - 0,1464|\} = 0,00001 < \varepsilon$ , что является основанием для прекращения вычислений. Тогда  $\{\alpha_1(3); \alpha_2(3); \alpha_3(3); \alpha_4(3); \alpha_5(3)\}$  являются итоговыми весами  $x_i$  ( $i = 1 \div 5$ ).

## 6. Определение взвешенного уровня СР на основе экспертных оценок

Метод экспертных оценок предполагает обсуждение факторов, влияющих на уровень СР, группой специально привлечённых для этого специалистов. Каждому из них предоставляется перечень возможных рисков на основе переменных  $x_i$  ( $i = 1 \div 5$ ) и предлагается в индивидуальном порядке дать независимую оценку вероятности их наступления в процентном выражении на основе следующей пятибалльной системы оценивания: 5 – несущественный риск; 4 – рискованная ситуация вероятнее всего не наступит; 3 – о возможности риска невозможно сказать ничего определённого; 2 – рискованная ситуация вероятнее всего наступит; 1 – рискованная ситуация наступит наверняка. Далее экспертные оценки подвергаются анализу на предмет их согласованности (или противоречивости) по правилу: максимально допустимая разница между двумя экспертными заключениями по любому виду риска относительно  $x_i$  ( $i = 1 \div 5$ ) не должна превышать 3. Это правило позволяет фильтровать недопустимые отклонения в экспертных оценках вероятности наступления риска по каждому фактору СР.

Выведение суммарного индекса, теоретически располагающегося в пределах от 0 до 100, можно осуществить посредством следующего критерия оценки [4]:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^5 \alpha_i e_i}{\max_i \sum_{i=1}^5 \alpha_i e_i} \times 100, \quad (7)$$

где  $\alpha_i$  – весовой коэффициент значимости переменной СР,  $e_i$  – экспертная оценка вероятности наступления риска по отдельному фактору СР по пятибалльной системе оценивания. Минимальный индекс означает максимальный риск и наоборот, а уровень СР устанавливается, исходя из градации итоговых взвешенных оценок, сведённых в табл. 3.

Таблица 3. Градация итоговых взвешенных оценок СР

Интервал	Уровень СР	Пояснение
(90; 100]	Чересчур низкий или отсутствует	Финансово-экономическое, социально-политическое и государственно-правовое состояние оценивается как устойчивое и стабильное в долгосрочной перспективе
(80; 90]	Очень низкий или незначительный	Финансово-экономическое, социально-политическое и государственно-правовое состояние оценивается как устойчивое и стабильное в среднесрочной перспективе
(70; 80]	Более чем низкий	Финансово-экономическое, социально-политическое и государственно-правовое состояние оценивается как устойчивое и стабильное в краткосрочной перспективе
(60; 70]	Низкий	Основные показатели финансово-экономического, социально-политического и государственно-правового состояния оцениваются как удовлетворительные и стабильные в краткосрочной перспективе
(50; 60]	Высокий	Основные показатели финансово-экономического, социально-политического и государственно-правового состояния оцениваются как удовлетворительные, но их стабильность сомнительная
(40; 50]	Более чем высокий	Основные показатели финансово-экономического, социально-политического и государственно-правового состояния оцениваются как близкие к удовлетворительным, но их стабильность более чем сомнительная
(30; 40]	Очень высокий или существенный	Финансово-экономическое, социально-политическое и государственно-правовое состояние оценивается как неудовлетворительное или близкое к удовлетворительному, но нестабильное.
[0; 30]	Чересчур высокий или недопустимый	Финансово-экономическое, социально-политическое и государственно-правовое состояние оценивается как стабильно неудовлетворительное

Теперь представим, что экспертному сообществу предлагается по пятибалльной системе протестировать 10 альтернативных стран:  $a_k$  ( $k = 1 \div 10$ ) на предмет оценки степени влияния финансово-экономических, социально-политических и государственно-правовых факторов в этих странах на уровень их СР. Так, на основе консолидированных (усреднённых) экспертных заключений и применения к ним критерия итоговой оценки (7) для этих стран получены оценки уровней СР, которые сведены в табл. 4.

Таблица 4. Оценка уровней СР для прошедших предварительный экспертный анализ стран

Альтернатива (страна) п/п	Весовые коэффициенты переменных СР					Соотношение итоговой оценки	Уровень СР
	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$	$\alpha_5$		
$a_1$	0,27547	0,24876	0,17821	0,15115	0,14640	91,27	Чересчур низкий или отсутствует

$a_2$	4,85	4,50	4,55	2,75	3,75	84,62	Очень низкий или незначительный
$a_3$	3,75	4,00	3,25	3,85	3,25	73,30	Более чем низкий
$a_4$	4,25	3,45	2,85	2,75	1,85	64,47	Низкий
$a_5$	4,00	2,55	3,00	2,25	1,85	57,64	Высокий
$a_6$	3,55	2,85	2,00	1,25	0,85	47,13	Более чем высокий
$a_7$	2,25	1,75	1,25	1,85	1,50	35,54	Очень высокий или существенный
$a_8$	2,25	1,85	1,25	0,75	0,25	29,06	Чересчур высокий или недопустимый
$a_9$	5,00	4,75	4,85	4,85	4,75	97,04	Чересчур низкий или отсутствует
$a_{10}$	3,25	2,85	3,75	4,25	3,50	68,55	Низкий

## 7. Определение уровня СР с применением системы нечёткого вывода

Все существующие на сегодняшний день модели оценки СР имеют определённые преимущества и недостатки. Например, описанный выше подход на основе применения экспертной системы оценивания критикуется за то, что в нём не прослеживаются причинно-следственные связи. Кроме того, градация уровней СР, представленная в табл. 3, устанавливается экспертным сообществом или на основе эвристических знаний. Поэтому, прежде чем начать формировать модель для оценки уровня СР, построим обоснованную шкалу градации, основанную на выявленных причинно-следственных связях.

### 7.1. Классификация уровней СР

Оценка уровня СР, являясь многокритериальной процедурой, подразумевает применение композиционного правила агрегирования оценки в каждом конкретном случае. Для оценки уровня СР выберем восемь оценочных понятий (термов):  $u_1$  – «ЧЕРЕСЧУР НИЗКИЙ»;  $u_2$  – «ОЧЕНЬ НИЗКИЙ»;  $u_3$  – «БОЛЕЕ ЧЕМ НИЗКИЙ»;  $u_4$  – «НИЗКИЙ»;  $u_5$  – «ВЫСОКИЙ»,  $u_6$  – «БОЛЕЕ ЧЕМ ВЫСОКИЙ»,  $u_7$  – «ОЧЕНЬ ВЫСОКИЙ»,  $u_8$  – «ЧЕРЕСЧУР ВЫСОКИЙ». Проще говоря, под множеством  $S=(u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6, u_7, u_8)$  будем понимать совокупность признаков классификации уровней СР. Тогда, полагая факторы СР лингвистическими переменными, принимающими свои значения в виде термов, оценку уровней СР осуществим с применением достаточного набора непротиворечивых правил вида «Если  $\langle \dots \rangle$ , то  $\langle \dots \rangle$ » [5] и на их основе установим соответствующую шкалу градации итоговых оценок уровней СР.

Базовые суждения сформулируем следующим образом:

- $d_1$ : «Если отсутствует коррупция и наблюдается развитие экономики, то уровень СР приемлемый»;
- $d_2$ : «Если вдобавок к вышперечисленным требованиям проводится государственная политика по учёту и контролю, то уровень СР более чем приемлемый»;
- $d_3$ : «Если дополнительно к условиям, оговорённым в  $d_2$ , существует соответствующее законодательство и осуществляется государственное регулирование, то уровень СР низкий»;
- $d_4$ : «Если отсутствует коррупция, существует соответствующее законодательство, наблюдается развитие экономики и проводится государственная политика по учёту и контролю, то уровень СР очень приемлемый»;
- $d_5$ : «Если имеется соответствующее законодательство, наблюдается развитие экономики и проводится государственная политика по учёту и контролю, но при этом имеет место проявление коррупции, то уровень СР всё же приемлемый»;

$d_6$ : «Если имеет место проявление коррупции, не наблюдается развитие экономики и не осуществляется государственное регулирование, то уровень СР неприемлемый».

В приведённых высказываниях, отражающих внутренние причинно-следственные связи, факторы, оказывающие влияние на уровень СР, будем считать входными характеристиками в виде лингвистических переменных  $x_i$  ( $i = 1 \div 5$ ), а выходной – лингвистическую переменную  $y$ , термы которой отражают уровни СР. Тогда, уточнив соответствующие значения (термы) этих переменных, на базе приведённых высказываний построим следующие импликативные правила:

$d_1$ : «Если  $x_1$ =ОТСУТСТВУЕТ и  $x_3$ =НАБЛЮДАЕТСЯ, то  $y$ =ПРИЕМЛЕМЫЙ»;

$d_2$ : «Если  $x_1$ =ОТСУТСТВУЕТ и  $x_3$ =НАБЛЮДАЕТСЯ и  $x_4$ =ПРОВОДИТСЯ, то  $y$ =БОЛЕЕ ЧЕМ ПРИЕМЛЕМЫЙ»;

$d_3$ : «Если  $x_1$ =ОТСУТСТВУЕТ и  $x_2$ =СУЩЕСТВУЕТ и  $x_3$ =НАБЛЮДАЕТСЯ и  $x_4$ =ПРОВОДИТСЯ и  $x_5$ =ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ, то  $y$ =НИЗКИЙ»;

$d_4$ : «Если  $x_1$ =ОТСУТСТВУЕТ и  $x_2$ =СУЩЕСТВУЕТ и  $x_3$ =НАБЛЮДАЕТСЯ и  $x_4$ =ПРОВОДИТСЯ, то  $y$ =ОЧЕНЬ ПРИЕМЛЕМЫЙ»;

$d_5$ : «Если  $x_1$ =ПРОЯВЛЯЕТСЯ и  $x_2$ =СУЩЕСТВУЕТ и  $x_3$ =НАБЛЮДАЕТСЯ и  $x_4$ =ПРОВОДИТСЯ, то  $y$ =ПРИЕМЛЕМЫЙ»;

$d_6$ : «Если  $x_1$ =ПРОЯВЛЯЕТСЯ и  $x_3$ =НЕ НАБЛЮДАЕТСЯ и  $x_5$ =НЕ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ, то  $y$ =НЕПРИЕМЛЕМЫЙ».

Лингвистическую переменную  $y$  зададим на дискретном множестве  $J=\{0; 0,1; 0,2; \dots; 1\}$ . Тогда  $\forall j \in J$  её термы можно описать нечёткими подмножествами  $J$  посредством следующих функций принадлежности [5, 6]:  $S$ =ПРИЕМЛЕМЫЙ,  $\mu_S(j)=j$ ;  $MS$ =БОЛЕЕ ЧЕМ ПРИЕМЛЕМЫЙ,  $\mu_{MS}(j)=\sqrt{j}$ ;  $L$ =НИЗКИЙ,  $\mu_L(j)=\begin{cases} 1, & j=1, \\ 0, & j < 1; \end{cases}$   $VS$ =ОЧЕНЬ ПРИЕМЛЕМЫЙ,  $\mu_{VS}(j)=j^2$ ;

$US$ =НЕПРИЕМЛЕМЫЙ,  $\mu_{US}(j)=1-j$ . Фаззификацию термов в левых частях правил осуществим с помощью гауссовской функции принадлежности:  $\mu(u)=\exp\{- (u-u_0)^2/\sigma_i^2\}$  ( $i=1 \div 5$ ), восстанавливающей нечёткие подмножества дискретного универсума  $C$ , где  $u_k=(a_{k+1}+a_k)/2$  ( $k=1 \div 8$ ) (рис. 1). При этом плотность распределения элементов  $\sigma_i^2$  для  $i$ -го фактора выбирается индивидуально, исходя из условия его критичности.

На рис. 1 градация факторов СР представлена в общем виде. Однако очевидно, что простым преобразованием  $t=(u-a_0)/(a_8-a_0)$ , где  $u \in [a_0, a_8]$ ,  $t \in [0, 1]$ , отрезок  $[a_0, a_8]$  можно легко свести к единичному отрезку  $[0, 1]$ .



Рис. 1. Равномерная градация факторов СР по степеням их влияния

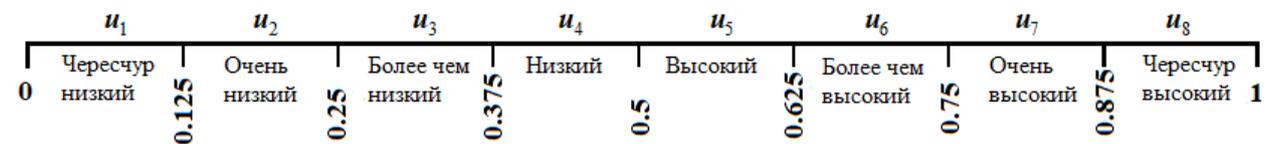


Рис. 1. Равномерная градация факторов СР в масштабе единичного отрезка

Оценивая уровень СР с точки зрения факторов влияния  $x_i$  ( $i = 1 \div 5$ ), градуированных в масштабе единичного интервала (рис. 1), где  $a_k = 0,125k$  ( $k = 0 \div 8$ ), фаззифицируем термы из левых частей правил в следующем виде:

- ОТСУТСТВУЕТ (уровень коррупции):  $A=\{0,9070/u_1; 0,6766/u_2; 0,4152/u_3; 0,2096/u_4; 0,0870/u_5; 0,0297/u_6; 0,0084/u_7; 0,0019/u_8\}$ ;

- СУЩЕСТВУЕТ (соответствующее законодательство):  $B=\{0,9070/u_1; 0,6766/u_2; 0,4152/u_3; 0,2096/u_4; 0,0870/u_5; 0,0297/u_6; 0,0084/u_7; 0,0019/u_8\}$ ;
- НАБЛЮДАЕТСЯ (развитие экономики):  $C=\{0,9394/u_1; 0,7788/u_2; 0,5698/u_3; 0,3679/u_4; 0,2096/u_5; 0,1054/u_6; 0,0468/u_7; 0,0183/u_8\}$ ;
- ПРОВОДИТСЯ (государственная политика учёта и контроля):  $D=\{0,9497/u_1; 0,8133/u_2; 0,6282/u_3; 0,4376/u_4; 0,2749/u_5; 0,1557/u_6; 0,0796/u_7; 0,0367/u_8\}$ ;
- ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ (государственное регулирование):  $E=\{0,9575/u_1; 0,8406/u_2; 0,6766/u_3; 0,4994/u_4; 0,3379/u_5; 0,2096/u_6; 0,1192/u_7; 0,0622/u_8\}$ .

С учётом этих формализмов импликативные правила в символьном выражении будут выглядеть следующим образом:

- $d_1: (x_1=A) \& (x_3=C) \Rightarrow (y=S)$ ;  
 $d_2: (x_1=A) \& (x_3=C) \& (x_4=D) \Rightarrow (y=MS)$ ;  
 $d_3: (x_1=A) \& (x_2=B) \& (x_3=C) \& (x_4=D) \& (x_5=E) \Rightarrow (y=L)$ ;  
 $d_4: (x_1=A) \& (x_2=B) \& (x_3=C) \& (x_4=D) \Rightarrow (y=VS)$ ;  
 $d_5: (x_1=\neg A) \& (x_2=B) \& (x_3=C) \& (x_4=D) \Rightarrow (y=S)$ ;  
 $d_6: (x_1=\neg A) \& (x_3=\neg C) \& (x_5=\neg E) \Rightarrow (y=US)$ .

Далее, для левых частей этих правил вычислим функции принадлежности нечётких множеств, полученных в результате пересечения [5]:

- $d_1: \mu_{M_1}(u) = \min\{\mu_A(u), \mu_C(u)\}$ ,  $M_1 = \{0,9070/u_1; 0,6766/u_2; 0,4152/u_3; 0,2096/u_4; 0,0870/u_5; 0,0297/u_6; 0,0084/u_7; 0,0019/u_8\}$ ;  
 $d_2: \mu_{M_2}(u) = \min\{\mu_A(u), \mu_C(u), \mu_D(u)\}$ ,  $M_2 = \{0,9070/u_1; 0,6766/u_2; 0,4152/u_3; 0,2096/u_4; 0,0870/u_5; 0,0297/u_6; 0,0084/u_7; 0,0019/u_8\}$ ;  
 $d_3: \mu_{M_3}(u) = \min\{\mu_A(u), \mu_B(u), \mu_C(u), \mu_D(u), \mu_E(u)\}$ ,  $M_3 = \{0,9070/u_1; 0,6766/u_2; 0,4152/u_3; 0,2096/u_4; 0,0870/u_5; 0,0297/u_6; 0,0084/u_7; 0,0019/u_8\}$ ;  
 $d_4: \mu_{M_4}(u) = \min\{\mu_A(u), \mu_B(u), \mu_C(u), \mu_D(u)\}$ ,  $M_4 = \{0,9070/u_1; 0,6766/u_2; 0,4152/u_3; 0,2096/u_4; 0,0870/u_5; 0,0297/u_6; 0,0084/u_7; 0,0019/u_8\}$ ;  
 $d_5: \mu_{M_5}(u) = \min\{1-\mu_A(u), \mu_B(u), \mu_C(u), \mu_D(u)\}$ ,  $M_5 = \{0,0930/u_1; 0,3234/u_2; 0,4994/u_3; 0,2910/u_4; 0,1453/u_5; 0,0622/u_6; 0,0228/u_7; 0,0072/u_8\}$ ;  
 $d_6: \mu_{M_6}(u) = \min\{1-\mu_A(u), 1-\mu_C(u), 1-\mu_E(u)\}$ ,  $M_6 = \{0,0425/u_1; 0,1594/u_2; 0,3234/u_3; 0,5006/u_4; 0,6621/u_5; 0,7904/u_6; 0,8808/u_7; 0,9378/u_8\}$ .

В итоге правила запишем в ещё более компактном виде:

- $d_1: (x=M_1) \Rightarrow (y=S)$ ;  $d_2: (x=M_2) \Rightarrow (y=MS)$ ;  $d_3: (x=M_3) \Rightarrow (y=L)$ ;  
 $d_4: (x=M_4) \Rightarrow (y=VS)$ ;  $d_5: (x=M_5) \Rightarrow (y=S)$ ;  $d_6: (x=M_6) \Rightarrow (y=US)$ .

В результате преобразования правил  $d_1 \div d_6$  посредством импликации Лукасевича [7]

$$\mu_{U \times J}(u, j) = \min\{1, 1 - \mu_U(u) + \mu_J(j)\}, \quad (8)$$

для каждой пары  $(u, j) \in U \times J$  получены соответствующие нечёткие отношения на  $U \times J$ :  $R_1, R_2, \dots, R_6$ , пересечение которых в итоге дало общее функциональное решение  $R$ , отражающее причинно-следственную связь между факторами  $x_i$  ( $i = 1 \div 5$ ), с одной стороны, и, собственно, уровнем СР, с другой.

		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$R =$	$u_1$	0,0930	0,0930	0,0930	0,0930	0,0930	0,0930	0,0930	0,0930	0,0930	0,0930	0,9575
	$u_2$	0,3234	0,3234	0,3234	0,3234	0,3234	0,3234	0,3234	0,3234	0,3234	0,3234	0,8406
	$u_3$	0,5006	0,5848	0,5848	0,5848	0,5848	0,5848	0,5848	0,5848	0,5848	0,5848	0,6766
	$u_4$	0,7090	0,7904	0,7904	0,7904	0,7904	0,7904	0,7904	0,7904	0,6994	0,5994	0,4994
	$u_5$	0,8547	0,9130	0,9130	0,9130	0,9130	0,8379	0,7379	0,6379	0,5379	0,4379	0,3379
	$u_6$	0,9378	0,9703	0,9703	0,9096	0,8096	0,7096	0,6096	0,5096	0,4096	0,3096	0,2096
	$u_7$	0,9772	0,9916	0,9192	0,8192	0,7192	0,6192	0,5192	0,4192	0,3192	0,2192	0,1192
	$u_8$	0,9928	0,9622	0,8622	0,7622	0,6622	0,5622	0,4622	0,3622	0,2622	0,1622	0,0622

Для определения уровня СР применим правило композиционного вывода [5]:  $E_k = G_k \circ R$ , где  $E_k$  – степень приемлемости риска относительно  $k$ -го уровня СР ( $k = 1 \div 8$ ),  $G_k$  – отображение  $k$ -го уровня СР в виде нечёткого подмножества дискретного универсума  $J$ . Тогда, выбирая композиционное правило как  $\mu_{E_k}(j) = \max_{j \in J} \{\min[\mu_{G_k}(j), \mu_R(j)]\}$  и полагая, что в этом случае  $\mu_{G_k}(j) = \begin{cases} 0, & j \neq j_k, \\ 1, & j = j_k, \end{cases}$  в итоге имеем  $\mu_{E_k}(u) = \mu_R(j_k, u)$ , то есть, иными словами,  $E_k$  есть  $k$ -я строка матрицы  $R$ .

Теперь для классификации уровней СР по числовым признакам применим процедуру дефаззификации нечётких выходов применённой модели. В частности, для оценочного понятия приемлемости риска  $u_1$  нечёткой интерпретацией соответствующего ему уровня СР будет следующее нечёткое подмножество универсума  $J$ :  $E_1 = \{0,0930/0; 0,0930/0,1; 0,0930/0,2; 0,0930/0,3; 0,0930/0,4; 0,0930/0,5; 0,0930/0,6; 0,0930/0,7; 0,0930/0,8; 0,0930/0,9; 0,9575/1\}$ . Устанавливая уровневые множества  $E_{1\alpha}$  и вычисляя соответствующие им мощности  $M(E_{1\alpha})$  по формуле  $M(E_{1\alpha}) = \frac{1}{m} \sum_{r=1}^n x_r$  [6], в результате имеем:

- для  $0 < \alpha < 0,093$ :  $\Delta\alpha = 0,0930$ ;  $E_{1\alpha} = \{0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1\}$ ,  $M(E_{1\alpha}) = 0,5$ ;

- для  $0,0930 < \alpha < 0,9575$ :  $\Delta\alpha = 0,8645$ ;  $E_{1\alpha} = \{1\}$ ,  $M(E_{1\alpha}) = 1,0$ .

Далее, для численной оценки нечётких выходов  $E_k$  ( $k = 1 \div 8$ ) применим формулу [6]:

$$F(E_k) = \frac{1}{\alpha_{\max}} \int_0^{\alpha_{\max}} M(E_{k\alpha}) d\alpha \quad (k = 1 \div 5). \quad (9)$$

В нашем случае имеем  $F(E_1) = \frac{1}{0,9575} \int_0^{0,9575} M(E_{1\alpha}) d\alpha = \frac{1}{0,9575} (0,5 \cdot 0,0930 + 1,0 \cdot 0,8645) = 0,9514$ .

Аналогичными действиями устанавливаются точечные оценки и для оставшихся нечётких выходов: для оценочного понятия приемлемости риска  $u_2 - F(E_2) = 0,8077$ ;  $u_3 - F(E_3) = 0,5741$ ;  $u_4 - F(E_4) = 0,4689$ ;  $u_5 - F(E_5) = 0,3964$ ;  $u_6 - F(E_6) = 0,3324$ ;  $u_7 - F(E_7) = 0,2863$ ;  $u_8 - F(E_8) = 0,2579$ . В данном случае  $F(E_8) = 0,2579$  является наименьшим дефаззифицированным выходом применённой модели многокритериальной оценки уровня СР, как верхняя граница соответствует консолидированной оценке уровня СР «ЧЕРЕСЧУР ВЫСОКИЙ ИЛИ НЕДОПУСТИМЫЙ». Аналогичным образом, с точки зрения влияния факторов СР дефаззифицированный выход 0,2863 является верхней границей оценки «ОЧЕНЬ ВЫСОКИЙ ИЛИ СУЩЕСТВЕННЫЙ»; 0,3324 является верхней границей оценки «БОЛЕЕ ЧЕМ ВЫСОКИЙ»; 0,3964 является верхней границей оценки «ВЫСОКИЙ»; 0,4689 является верхней границей оценки «НИЗКИЙ»; 0,5741 является верхней границей оценки «БОЛЕЕ ЧЕМ НИЗКИЙ»; 0,8077 является верхней границей оценки «ОЧЕНЬ НИЗКИЙ ИЛИ НЕЗНАЧИТЕЛЬНЫЙ»; 0,9514 является наибольшим дефаззифицированным выходом применённой модели и, соответственно, верхней границей оценки «ЧЕРЕСЧУР НИЗКИЙ ИЛИ ОТСУТСТВУЕТ». Тогда, выбрав в качестве

критерия формирования итоговой оценки равенство  $E = \frac{F(E_k)}{F_{\max}} \times 100$ , где  $F(E_k)$  – оценка  $k$ -го уровня СР (в широком смысле и любая другая оценка),  $F_{\max} = F(E_1) = 0,9514$ , в принятых допущениях получим обоснованную шкалу для оценки уровня СР в масштабе отрезка [0; 100], которая сведена в табл. 5.

Таблица 5. Градация уровней СР с применением метода нечёткого вывода

Интервал	Уровень СР	Интервал	Уровень СР
(84,90; 100]	Чересчур низкий	(34,94; 41,66]	Высокий
(60,34; 84,90]	Очень низкий	(30,09; 34,94]	Более чем высокий
(49,29; 60,34]	Более чем низкий	(27,11; 30,09]	Очень высокий
(41,66; 49,29]	Низкий	[0; 27,11]	Чересчур высокий

## 7.2. Нечёткая система вывода для оценки уровня СР

Для построения нечёткой системы логического вывода относительно оценки уровня СР выберем за основу конструкцию вербальной модели, сформулированной в разд. 7.1 посредством высказываний  $d_1 \div d_6$ . Отличие состоит лишь в том, что в качестве альтернатив будут использованы 10 гипотетических государств  $a_k$  ( $k = 1 \div 10$ ), прошедших экспертную экспертизу по пятибалльной системе оценивания на предмет влияния факторов  $x_i$  ( $i = 1 \div 5$ ) на их уровень СР (табл. 5). В этом случае для термов из их левых частей правил вида  $d_1 \div d_6$  процедуру фаззификации применим несколько иначе, а именно: каждый терм отразим в виде нечёткого подмножества конечной совокупности оцениваемых альтернатив (в нашем случае стран)  $\{a_1, a_2, \dots, a_{10}\}$  в следующем виде:  $A_i = \{\mu_{A_i}(a_1)/a_1; \dots; \mu_{A_i}(a_{10})/a_{10}\}$ , где  $\mu_{A_i}(a_t)$  ( $t = 1 \div 10$ ) – значение функции принадлежности, восстанавливающей нечёткое множество  $A_i$ , то есть определяющее отношение страны  $a_t$  к критерию оценки  $A_i$ . В качестве функции принадлежности выбрана гауссовская функция вида  $\mu_{A_i}(a_t) = \exp\{-[e_i(a_t) - 5]^2 / \sigma_i^2\}$ , где  $e_i(a_t)$  – консолидированная оценка экспертов стране  $a_t$  ( $t = 1 \div 10$ ), данная по пятибалльной шкале на предмет соответствия риску по  $i$ -му фактору как несуществующему;  $\sigma_i^2$  – плотность расположения ближайших элементов, которую мы выбираем единой для всех случаев процесса фаззификации как равной 4. Тогда, полагая  $x_i$  ( $i = 1 \div 5$ ) лингвистическими переменными, один из их термов, а именно: «НЕСУЩЕСТВУЮЩИЙ РИСК» представим в виде нечёткого подмножества  $A_i$  дискретного универсума  $U = \{a_1, a_2, \dots, a_{10}\}$  следующим образом:

- $A_1 = \{0,9394/a_1; 0,9944/a_2; 0,6766/a_3; 0,8688/a_4; 0,7788/a_5; 0,5912/a_6; 0,151/a_7; 0,151/a_8; 1/a_9; 0,465/a_{10}\}$ ;
- $A_2 = \{0,9845/a_1; 0,9394/a_2; 0,7788/a_3; 0,5485/a_4; 0,2230/a_5; 0,3149/a_6; 0,0713/a_7; 0,0837/a_8; 0,9845/a_9; 0,3149/a_{10}\}$ ;
- $A_3 = \{0,9394/a_1; 0,9506/a_2; 0,4650/a_3; 0,3149/a_4; 0,3679/a_5; 0,1054/a_6; 0,0297/a_7; 0,0297/a_8; 0,9944/a_9; 0,6766/a_{10}\}$ ;
- $A_4 = \{0,9845/a_1; 0,2821/a_2; 0,7185/a_3; 0,2821/a_4; 0,1510/a_5; 0,0297/a_6; 0,0837/a_7; 0,0109/a_8; 0,9944/a_9; 0,8688/a_{10}\}$ ;
- $A_5 = \{0,8688/a_1; 0,6766/a_2; 0,4650/a_3; 0,0837/a_4; 0,0837/a_5; 0,0135/a_6; 0,0468/a_7; 0,0036/a_8; 0,9845/a_9; 0,5698/a_{10}\}$ .

Тогда, с учётом этих формализмов и представленных в разд. 7.1 формальных описаний термов из правых частей правил, запишем базовую модель в следующем виде:

- $d_1: (x_1=A_1) \& (x_3=A_3) \Rightarrow (y=S)$ ;  
 $d_2: (x_1=A_1) \& (x_3=A_3) \& (x_4=A_4) \Rightarrow (y=MS)$ ;  
 $d_3: (x_1=A_1) \& (x_2=A_2) \& (x_3=A_3) \& (x_4=A_4) \& (x_5=A_5) \Rightarrow (y=L)$ ;  
 $d_4: (x_1=A_1) \& (x_2=A_2) \& (x_3=A_3) \& (x_4=A_4) \Rightarrow (y=VS)$ ;  
 $d_5: (x_1=\neg A_1) \& (x_2=A_2) \& (x_3=A_3) \& (x_4=A_4) \Rightarrow (y=S)$ ;  
 $d_6: (x_1=\neg A_1) \& (x_3=\neg A_3) \& (x_5=\neg A_5) \Rightarrow (y=US)$ .

Аналогичным образом находим пересечения нечётких множеств из левых частей правил, которые в дискретном случае определяются путём нахождения минимума соответствующих значений функций принадлежности, а именно:

$$d_1: \mu_{M_1}(u) = \min\{\mu_{A_1}(u), \mu_{A_3}(u)\}, M_1 = \{0,9394/a_1; 0,9506/a_2; 0,4650/a_3; 0,3149/a_4; 0,3679/a_5; 0,1054/a_6; 0,0297/a_7; 0,0297/a_8; 0,9944/a_9; 0,4650/a_{10}\};$$

$$d_2: \mu_{M_2}(u) = \min\{\mu_{A_1}(u), \mu_{A_3}(u), \mu_{A_4}(u)\}, M_2 = \{0,9394/a_1; 0,2821/a_2; 0,4650/a_3; 0,2821/a_4; 0,1510/a_5; 0,0297/a_6; 0,0297/a_7; 0,0109/a_8; 0,9944/a_9; 0,4650/a_{10}\};$$

$$d_3: \mu_{M_3}(u) = \min\{\mu_{A_1}(u), \mu_{A_2}(u), \mu_{A_3}(u), \mu_{A_4}(u), \mu_{A_5}(u)\}, M_3 = \{0,8688/a_1; 0,2821/a_2; 0,4650/a_3; 0,0837/a_4; 0,0837/a_5; 0,0135/a_6; 0,0297/a_7; 0,0036/a_8; 0,9845/a_9; 0,3149/a_{10}\};$$

$$d_4: \mu_{M_4}(u) = \min\{\mu_{A_1}(u), \mu_{A_2}(u), \mu_{A_3}(u), \mu_{A_4}(u)\}, M_4 = \{0,9394/a_1; 0,2821/a_2; 0,4650/a_3; 0,2821/a_4; 0,1510/a_5; 0,0297/a_6; 0,0297/a_7; 0,0109/a_8; 0,9845/a_9; 0,3149/a_{10}\};$$

$$d_5: \mu_{M_5}(u) = \min\{1-\mu_{A_1}(u), \mu_{A_2}(u), \mu_{A_3}(u), \mu_{A_4}(u)\}, M_5 = \{0,0606/a_1; 0,0056/a_2; 0,3234/a_3; 0,1312/a_4; 0,1510/a_5; 0,0297/a_6; 0,0297/a_7; 0,0109/a_8; 0,0000/a_9; 0,3149/a_{10}\};$$

$$d_6: \mu_{M_6}(u) = \min\{1-\mu_{A_1}(u), 1-\mu_{A_3}(u), 1-\mu_{A_5}(u)\}, M_6 = \{0,0606/a_1; 0,0056/a_2; 0,3234/a_3; 0,1312/a_4; 0,2212/a_5; 0,4088/a_6; 0,8490/a_7; 0,8490/a_8; 0,0000/a_9; 0,3234/a_{10}\}.$$

В итоге запишем правила в ещё более компактном виде:

$$d_1: (x=M_1) \Rightarrow (y=S); d_2: (x=M_2) \Rightarrow (y=MS); d_3: (x=M_3) \Rightarrow (y=L);$$

$$d_4: (x=M_4) \Rightarrow (y=VS); d_5: (x=M_5) \Rightarrow (y=S); d_6: (x=M_6) \Rightarrow (y=US).$$

Как и в предыдущем случае, после преобразования этих правил с помощью импликации Лукасевича (8), для каждой пары  $(u, j) \in U \times J$  были получены соответствующие нечёткие отношения, пересечение которых в итоге дало общее функциональное решение в виде матрицы  $R$ , отражающее влияние факторов  $x_i$  ( $i = 1 \div 5$ ) на уровень СР.

$$R = \begin{bmatrix} & 0 & 0,1 & 0,2 & 0,3 & 0,4 & 0,5 & 0,6 & 0,7 & 0,8 & 0,9 & 1 \\ a_1 & 0,0606 & 0,0706 & 0,1006 & 0,1312 & 0,1312 & 0,1312 & 0,1312 & 0,1312 & 0,1312 & 0,1312 & 0,9394 \\ a_2 & 0,0444 & 0,1494 & 0,2494 & 0,3494 & 0,4494 & 0,5494 & 0,6494 & 0,7179 & 0,7179 & 0,7179 & 0,9944 \\ a_3 & 0,5350 & 0,5350 & 0,5350 & 0,5350 & 0,5350 & 0,5350 & 0,5350 & 0,5350 & 0,5350 & 0,5350 & 0,6766 \\ a_4 & 0,6851 & 0,7279 & 0,7579 & 0,8079 & 0,8779 & 0,9163 & 0,9163 & 0,9163 & 0,9163 & 0,9163 & 0,8688 \\ a_5 & 0,6321 & 0,7321 & 0,8321 & 0,9163 & 0,9163 & 0,9163 & 0,9163 & 0,9163 & 0,9163 & 0,8788 & 0,7788 \\ a_6 & 0,8946 & 0,9803 & 0,9865 & 0,9865 & 0,9865 & 0,9865 & 0,9865 & 0,8912 & 0,7912 & 0,6912 & 0,5912 \\ a_7 & 0,9703 & 0,9703 & 0,9510 & 0,8510 & 0,7510 & 0,6510 & 0,5510 & 0,4510 & 0,3510 & 0,2510 & 0,1510 \\ a_8 & 0,9703 & 0,9964 & 0,9510 & 0,8510 & 0,7510 & 0,6510 & 0,5510 & 0,4510 & 0,3510 & 0,2510 & 0,1510 \\ a_9 & 0,0056 & 0,0155 & 0,0155 & 0,0155 & 0,0155 & 0,0155 & 0,0155 & 0,0155 & 0,0155 & 0,0155 & 1,0000 \\ a_{10} & 0,5350 & 0,6350 & 0,6851 & 0,6851 & 0,6851 & 0,6851 & 0,6851 & 0,6851 & 0,6851 & 0,6851 & 0,6766 \end{bmatrix}.$$

Согласно вышеупомянутым рассуждениям,  $k$ -я строка матрицы  $R$  является нечётким выводом (множеством) относительно агрегированного уровня СР для  $k$ -ой альтернативы (страны). Чтобы численно интерпретировать каждый из таких нечётких выводов, применим описанную выше процедуру дефаззификации. Так, для нечёткого вывода относительно уровня СР 1-ой альтернативы  $E_1 = \{0,0606/0; 0,0706/0,1; 0,1006/0,2; 0,1312/0,3; 0,1312/0,4; 0,1312/0,5; 0,1312/0,6; 0,1312/0,7; 0,1312/0,8; 0,1312/0,9; 0,9394/1\}$  соответственно имеем:

- для  $0 < \alpha < 0,0606$ :  $\Delta\alpha = 0,0606$ ;  $E_{1\alpha} = \{0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1\}$ ,  $M(E_{1\alpha}) = 0,5$ ;
- для  $0,0606 < \alpha < 0,0706$ :  $\Delta\alpha = 0,01$ ;  $E_{1\alpha} = \{0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1\}$ ,  $M(E_{1\alpha}) = 0,55$ ;
- для  $0,0706 < \alpha < 0,1006$ :  $\Delta\alpha = 0,03$ ;  $E_{1\alpha} = \{0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1\}$ ,  $M(E_{1\alpha}) = 0,60$ ;
- для  $0,1006 < \alpha < 0,1312$ :  $\Delta\alpha = 0,0306$ ;  $E_{1\alpha} = \{0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1\}$ ,  $M(E_{1\alpha}) = 0,65$ ;
- для  $0,1312 < \alpha < 0,9394$ :  $\Delta\alpha = 0,8082$ ;  $E_{1\alpha} = \{1\}$ ,  $M(E_{1\alpha}) = 1$ .

Тогда, согласно (9), численной оценкой нечёткого вывода  $E_1$  будет число  $F(E_1) = \frac{1}{0,9388} \int_0^{0,9388} M(E_{8\alpha}) d\alpha = 0,9388$ . Аналогичными действиями были установлены то-

чечные оценки нечётких выводов относительно уровней СР и для остальных альтернативных стран:  $a_2 - F(E_2)=0,7687$ ;  $a_3 - F(E_3)=0,6047$ ;  $a_4 - F(E_4)=0,5370$ ;  $a_5 - F(E_5)=0,5206$ ;  $a_6 - F(E_6)=0,4552$ ;  $a_7 - F(E_7)=0,3055$ ;  $a_8 - F(E_8)=0,3001$ ;  $a_9 - F(E_9)=0,9927$ ;  $a_{10} - F(E_{10})=0,5140$ . В результате, путём простого умножения этих значений на 100, получим соотношение итоговых оценок уровней СР в масштабе отрезка [0; 100].

## 8. Заключение

В рамках первого подхода на базе согласованных экспертных заключений относительно приоритетности факторов СР установлены обобщённые значения весов  $x_i$  ( $i = 1 \div 5$ ), что стало основанием для обоснованного формирования итоговых оценок уровней СР по установленному критерию сравнения в масштабе отрезка [0; 100]. Метод нечёткого вывода, который составляет суть второго подхода, аналогично решает поставленную задачу с той лишь разницей, что опирается не на косвенную, а на прямую причинно-следственную связь между  $x_i$  ( $i = 1 \div 5$ ) и уровнями СР. В результате применения этого метода удалось сформировать обоснованную шкалу градации уровней СР и относительно легко получить итоговые оценки уровней СР. Сравнение полученных обоими методами результатов оценки уровней СР рассмотренных гипотетических альтернатив (стран)  $a_k$  ( $k = 1 \div 10$ ) представлено в табл. 6, откуда видно, что итоговые оценки уровней СР не везде совпадают, особенно при сравнении уровней СР по наименованиям. Последнее объясняется разными подходами к формированию шкалы градации итоговых оценок уровней СР.

Таблица 6. Сравнительный анализ результатов оценки уровней СР

Альтернатива (п/п)	Метод взвешенных оценок			Метод нечёткого вывода		
	Итоговая оценка	Уровень СР	Порядок	Итоговая оценка	Уровень СР	Порядок
$a_1$	91,27	Чересчур низкий	2	93,88	Чересчур низкий	2
$a_2$	84,62	Очень низкий	3	76,87	Очень низкий	3
$a_3$	73,30	Более чем низкий	4	60,47	Очень низкий	4
$a_4$	64,47	Низкий	6	53,70	Более чем низкий	5
$a_5$	57,64	Высокий	7	52,06	Более чем низкий	6
$a_6$	47,13	Более чем высокий	8	45,52	Низкий	8
$a_7$	35,54	Очень высокий	9	30,55	Более чем высокий	9
$a_8$	29,06	Чересчур высокий	10	30,01	Очень высокий	10
$a_9$	97,04	Чересчур низкий	1	99,27	Чересчур низкий	1
$a_{10}$	68,55	Низкий	5	51,40	Более чем низкий	7

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. PwC Global Risk podcast series [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.pwc.com/gx/en/services/advisory/consulting/risk/coso-erm-framework/podcasts.html> (accessed 13 January 2017).
2. Lin A.S. A Note on the concordance correlation coefficient / A.S. Lin // Biometrics. – 2012. – Vol. 56. – P. 324 – 325.
3. Hedayat Lin A.S. Statistical Tools for Measuring Agreement / Lin A.S. Hedayat, W. Wu. – New York: Springer, 2012. – 173 p.

4. Тельнов Г.В. Подход к формированию итоговой оценки уровня освоения материала учебной дисциплины при промежуточной аттестации обучаемых на основе взвешенных коэффициентов оцениваемых признаков / Г.В. Тельнов // Вестник АГУ. – 2015. – Вып. 1 (154). – С. 119 – 127.
5. Zadeh L.A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning / L.A. Zadeh // Information sciences. – 1965. – Vol. 8, N 3. – P. 199 – 249.
6. Рзаев Р.Р. Аналитическая поддержка принятия решений в организационных системах / Рзаев Р.Р. – Saarbruchen(Germany): Palmerium Academic Publishing, 2016. – 306 с.
7. Lukasiewicz J. On three-valued logic: Selected Works / J. Lukasiewicz; Ed. L. Borkowski. – Amsterdam: NorthHolland Publishing Company, 1970. – P. 87 – 88.

*Стаття надійшла до редакції 02.02.2018*