American Journal of Engineering Research (AJER) 2022
American Journal of Engineering Research (AJER)
e-ISSN: 2320-0847 p-ISSN : 2320-0936
Volume-11, Issue-11, pp-41-48
www.ajer.org
Research Paper Open Access

Multivariate assessment of investment attractiveness of countries based on a compilation of expert knowledge

G.G.Gasimov, S. O. Aliyeva

Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, assosiative professor
Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, assistant
Corresponding Author: Gasimov G.G.

Abstract. *To compile the initial expert knowledge regarding influences the fuzzy methods for assessing the investment attractiveness of countries are considered. The proposed approaches were tested to assess the investment attractiveness of 10 hypothetical countries characterized by similar in values consolidated expert estimates of economic, socio-political, and other influences.*

Keywords: *investment attractiveness, expert evaluation, fuzzy set.*

Date of Submission: 02-11-2022 Date of acceptance: 13-11-2022

I. Введение

Мировой рынок иностранных инвестиций во все времена своего существования был и по сей день остаётся той площадкой, на которой каждая странаведёт свою конкурентную борьбу за привлечение международного капитала в национальную экономику путём обеспечения благоприятного инвестиционного климата. Создание благоприятного инвестиционного климата, как совокупности политических, социально-экономических и юридических условий на территории конкретной страны, невозможно без учёта факторов, оказывающих в той или иной степени влияние на принятие инвестиционных решений зарубежнымивкладчиками. По сути, факторы инвестиционной привлекательности страны (ФИПС) являются критериями, которыми пользуются международные рейтинговые агентства для интегральной оценки инвестиционной привлекательности страны. Наиболее общим списком ФИПС, которыми пользуются многиеинвесторы, является: x_1 – политические; x_2 – социальные; x_3 – экономические; x_4 – экологические; x_5 – криминальные; x_6 – финансовые; x_7 – ресурсно-сырьевые; x_8 – трудовые; x_9 – производственные; x_{10} – инновационные; x_{11} – инфраструктурные; x_{12} – потребительские; x_{13} – институциональные; x_{14} – законодательные.

II. Постановка задачи

Ведущие мировые рейтинговые агентства периодически публикуют рейтинги инвестиционной привлекательности стран на основе методик, сформированных ещё в конце XX века. Кроме того, некоторыми экспертными группами созданы и адаптированы упрощённые методики оценки инвестиционной привлекательности для стран с переходной экономикой, позволяющие формировать их рейтинги относительно экономически более развитых стран. Тем не менее, все существующие подходы к вычислению интегральных показателей инвестиционной привлекательности имеют свои недостатки, порождённые «размытостью» и неоднозначностью оценок слабо структурированных ФИПСx_i (i=1÷14). Чтобы преодолеть их некоторые экспертные группы составляют порядковые рейтинги инвестиционной привлекательности страны (ИПС), определяющие её место в ряду остальных. Но, к сожалению, и этот подход не совершенен, т.к. не создаёт видимость для потенциального инвестора: насколько одна страна привлекательнее и рискованнее другой, на сколько различия между странами, занимающими последовательные порядковые места, являются существенными или незначительными. Поэтому, исходя из этих предпосылок, становится очевидна важность и актуальность исследования методов транспарентной оценки слабо структурированных показателей инвестиционной привлекательности страны с применением нечёткого анализа экспертных оценок, полученных на ранней стадии изучения предметной области.

III. Экспертная оценка ИПС

Как отмечалось выше, ИПС – это многофакторная категория, которая характеризуется системой ФИПСx_i (i=1÷14), оказывающих существенное влияние на современный рынок иностранных инвестиций [1]. Экспертная оценка ИПС подразумевает: 1) ранжирование факторовx_k на предмет их приоритетности; 2) идентификацию весов x_i, исходя из их относительного влияния на уровень ИПС; 3) оценкусамих ФИПСс применением шкалы градации; 4) вычислениеинтегрального индекса, отражающего общий уровень ИПС. Опираясь на эту схему, продолжим рассуждения следующим образом. Предположим, что путём независимого анкетирования 15-ти экспертов полученыранговые оценки ФИПС x_i. При этом, каждому эксперту предлагалось расположить x_iпо принципу: наиболее важный фактор обозначить цифрой «1», следующий менее важный – цифрой «2» и далее по убыванию порядка предпочтения эксперта. Полученные таким образом ранговые оценки упорядочены в виде таблицы1.

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

$$W=12\cdot S/[m^2(n^3-n)], \qquad (1)$$

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

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

где $r_{ij}\in\{1, 2, \ldots, 14\}$ – ранг i-го ФИПС, установленный j-ым экспертом. В рассматриваемом случае (см. Табл. 1) значение коэффициента конкордации Кендалла, рассчитанного по формуле (1), при величине S=36945.50, вычисленной на основании (2) и данных из Табл. 1, будет W=12·36945.50/[15^2(14^3-14)]=0.7218>0.6,что свидетельствует о достаточно *сильной* согласованности экспертных заключений относительно степеней важности x_i. На предварительном этапе независимого анкетирования каждому эксперту также было поручено установить значения нормированных оценок весов ФИПС x_i (i=1÷14). Результаты этого анкетирования сведены в Таблицу 2.

Таблица 1.Экспертные ранговые оценки приоритетности ФИПС

Эксперт	Оценочные признаки и их ранговые оценки (r_{ij})													
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}
1	2	4	1	10	14	3	5	13	6	12	7	11	8	9
2	1	3	2	13	14	4	5	10	9	11	8	12	7	6
3	3	4	1	12	13	2	6	8	7	10	5	9	11	14
4	3	4	2	13	14	1	5	6	7	9	8	10	12	11
5	2	5	1	13	14	4	3	6	8	9	7	10	11	12
6	1	13	2	14	12	3	7	8	9	10	6	11	5	4
7	3	10	2	9	11	1	4	12	13	14	8	7	6	5
8	1	13	2	14	12	3	5	4	6	11	7	8	10	9
9	2	13	1	14	12	4	3	6	5	8	7	9	11	10
10	3	4	2	12	13	1	5	7	6	14	8	11	10	9
11	4	5	2	13	12	3	1	14	6	10	7	11	8	9
12	2	4	1	9	13	3	10	11	12	14	5	8	7	6
13	3	14	2	13	12	4	1	11	5	10	7	9	8	6
14	3	14	1	12	13	2	4	9	10	11	5	7	8	6
15	1	14	2	13	12	3	4	11	9	10	5	8	6	7
∑	34	124	24	184	191	41	68	136	118	163	100	141	128	123

Таблица 2. Экспертные нормированные оценки веов ФИПС

Эксперт	Оценочные признаки и их нормированные оценки (α_{ij})													
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}
1	0.125	0.105	0.135	0.045	0.010	0.115	0.095	0.020	0.085	0.030	0.075	0.040	0.065	0.055
2	0.135	0.115	0.125	0.020	0.010	0.105	0.095	0.045	0.055	0.040	0.065	0.030	0.075	0.085
3	0.115	0.105	0.135	0.030	0.020	0.125	0.085	0.065	0.075	0.045	0.095	0.055	0.040	0.010
4	0.115	0.105	0.125	0.020	0.010	0.135	0.095	0.085	0.075	0.055	0.065	0.045	0.030	0.040
5	0.125	0.095	0.135	0.020	0.010	0.105	0.115	0.085	0.065	0.055	0.075	0.045	0.040	0.030
6	0.135	0.020	0.125	0.010	0.030	0.115	0.075	0.065	0.055	0.045	0.085	0.040	0.095	0.105
7	0.115	0.045	0.125	0.055	0.040	0.135	0.105	0.030	0.020	0.010	0.065	0.075	0.085	0.095
8	0.135	0.020	0.125	0.010	0.030	0.115	0.095	0.105	0.085	0.040	0.075	0.065	0.045	0.055
9	0.125	0.020	0.135	0.010	0.030	0.105	0.115	0.085	0.095	0.065	0.075	0.055	0.040	0.045
10	0.115	0.105	0.125	0.030	0.020	0.135	0.095	0.075	0.085	0.010	0.065	0.040	0.045	0.055
11	0.105	0.095	0.125	0.020	0.030	0.115	0.135	0.010	0.085	0.045	0.075	0.040	0.065	0.055

12	0.125	0.105	0.135	0.055	0.020	0.115	0.045	0.040	0.030	0.010	0.095	0.065	0.075	0.085
13	0.115	0.010	0.125	0.020	0.030	0.105	0.135	0.040	0.095	0.045	0.075	0.055	0.065	0.085
14	0.115	0.010	0.135	0.030	0.020	0.125	0.105	0.055	0.045	0.040	0.095	0.075	0.065	0.085
15	0.135	0.010	0.125	0.020	0.030	0.115	0.105	0.040	0.055	0.045	0.095	0.065	0.085	0.075
∑	1.835	0.965	1.935	0.395	0.340	1.765	1.495	0.845	1.005	0.580	1.175	0.790	0.915	0.960

Отправляясь от данных, представленных в Табл. 2, проведём предварительные расчёты для последующей идентификации весов переменных ФИПС в виде усреднений по группам нормированных оценок. В частности, усреднение по i-ой группе нормированных оценок переменных ФИПС осуществляется итерационным образом по формуле [4]

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

где $w_j(t)$ – весовой коэффициент, характеризующий степень компетентности j-го эксперта (j=1÷m) на момент времени t. При этом, процесс усреднения завершается при условии

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

где ε – допустимая точность расчётов. Полагая ε=0.0001 и одинаковые компетентности у экспертов, характеризуемые на начальном этапе t=0 величиной$w_j(0)=1/m$, средние значения по группам нормированных оценок весовФИПС в 1-ом приближении получим из частного случая формулы (3)

$$\alpha_i(1)=\sum_{j=1}^{15} w_j(0)\alpha_{ij}=\frac{1}{15}\sum_{j=1}^{15}\alpha_{ij}\,,\ i=1\div 14.$$

В этом случае таковыми будут следующие соответствующие числа: {$\alpha_1(1)$; $\alpha_2(1)$; …; $\alpha_{14}(1)$}={0.1223; 0.0643; 0.1290; 0.0263; 0.0227; 0.1177; 0.0997; 0.0563; 0.0670; 0.0387; 0.0783; 0.0527; 0.0610; 0.0640}. При этом не трудно заметить, что требование (4) для 1-го приближения не выполняется. Поэтому, чтобы перейти на следующий этап вычислим нормирующий множитель$\eta(1)$ в виде: $\eta(1)=\sum_{i=1}^{14}\sum_{j=1}^{15}\alpha_i(1)\alpha_{ij}=1.2992$. Тогда согласно [4] и:

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

показателями компетентности экспертов в 1-ом приближении будут соответствующие числа: {$w_1(1)$; $w_2(1)$; $w_3(1)$; $w_4(1)$; $w_5(1)$; $w_6(1)$; $w_7(1)$; $w_8(1)$; $w_9(1)$; $w_{10}(1)$; $w_{11}(1)$; $w_{12}(1)$; $w_{13}(1)$; $w_{14}(1)$; $w_{15}(1)$}={0.0672; 0.0670; 0.0666; 0.0668; 0.0672; 0.0664; 0.0658; 0.0666; 0.0666; 0.0672; 0.0668; 0.0654; 0.0665; 0.0670; 0.0670}. Тогда, согласно (3) или, точнее: $\alpha_i(2)=\sum_{j=1}^{15} w_j(1)\alpha_{ij}$, среднимизначениями по группам нормированных оценоквесов ФИПС во 2-ом приближении будут следующие числа:
{$\alpha_1(2)$; $\alpha_2(2)$; …; $\alpha_{14}(2)$}={0.3148; 0.1494; 0.3121; 0.1020; 0.1170; 0.2914; 0.2361; 0.1834; 0.1848; 0.1471; 0.2241; 0.1563; 0.2160; 0.2283}.

Проверяя полученные значения на выполнение условия (4) и убедившись, что оно вновь не выполняется:
max{|$\alpha_i(2)$-$\alpha_i(1)$|}=max{|0.3148-0.1223|; |0.1494-0.0643|; |0.3121-0.1290|; |0.1020-0.0263|;|0.1170-0.0227|; |0.2914-0.1177|; |0.2361-0.0997|; |0.1834-0.0563|; |0.1848-0.0670|; |0.1471-0.0387|; |0.2241-0.0783|; |0.1563-0.0527|; |0.2160-0.0610|; |0.2283-0.0640|}=0.1924>ε,
вычислим следующий нормирующий множитель как: $\eta(2)=\sum_{i=1}^{14}\sum_{j=1}^{15}\alpha_i(2)\alpha_{ij}=3.5028$. В этом случае показателями компетентности экспертов во2-ом приближении будут соответствующие числа: {$w_1(2)$; $w_2(2)$; $w_3(2)$; $w_4(2)$; $w_5(2)$; $w_6(2)$; $w_7(2)$; $w_8(2)$; $w_9(2)$; $w_{10}(2)$; $w_{11}(2)$; $w_{12}(2)$; $w_{13}(2)$; $w_{14}(2)$; $w_{15}(2)$}={0.066324; 0.066831; 0.065413; 0.065844; 0.066136; 0.068159; 0.066624; 0.067108; 0.066741; 0.066263; 0.065952; 0.065851; 0.067117; 0.067716; 0.067920}.

В 3-ем приближении средними величинамипо группамнормированных оценоквесовФИПС,рассчитанные по частному случаю формулы (3): $\alpha_i(3)=\sum_{j=1}^{15} w_j(2)\alpha_{ij}$, являются следующие числа: {$\alpha_1(3)$; $\alpha_2(3)$; …; $\alpha_{14}(3)$}={0.3163; 0.1507; 0.3136; 0.1037; 0.1188; 0.2930; 0.2377; 0.1851; 0.1864; 0.1488; 0.2257; 0.1581; 0.2178; 0.2302}.И для этого приближения условие(4) также не выполняется: max{|0.3163-0.3148|; |0.1507-0.1494|; |0.3136-0.3121|; |0.1037-0.1020|; |0.1188-0.1170|; |0.2930-0.2914|; |0.2377-0.2361|; |0.1851-0.1834|; |0.1864-0.1848|; |0.1488-0.1471|; |0.2257-0.2241|; |0.1581-0.1563|; |0.2178-0.2160|; |0.2302-0.2283|}=0.0019>ε.Поэтому следует перейти на следующий шаг итерации путём вычисления соответствующего нормирующего множителя $\eta(3)=\sum_{i=1}^{14}\sum_{j=1}^{15}\alpha_i(3)\alpha_{ij}=3.5271$. Тогда показатели компетентности экспертов в 3-ем приближении будут характеризовать рассчитанные на основании (5) соответствующие числа: {$w_1(3)$; $w_2(3)$; $w_3(3)$; $w_4(3)$; $w_5(3)$; $w_6(3)$; $w_7(3)$; $w_8(3)$; $w_9(3)$; $w_{10}(3)$; $w_{11}(3)$; $w_{12}(3)$; $w_{13}(3)$; $w_{14}(3)$; $w_{15}(3)$}={0.066321; 0.066826; 0.065413; 0.065841; 0.066133; 0.068157; 0.066633; 0.067108; 0.066742; 0.066259; 0.065953; 0.065858; 0.067120; 0.067717; 0.067920}.Подставляя их в формулу: $\alpha_i(4)=\sum_{j=1}^{15}w_j(3)\alpha_{ij}$, получим средние величины нормированных оценок весов ФИПС по i-ым группам (i=1÷14): {$\alpha_1(4)$; $\alpha_2(4)$; ...; $\alpha_{14}(4)$}={0,316347; 0.150711; 0.313620; 0.103745; 0.118824; 0.292957; 0.237739; 0.185068; 0.186363; 0.148786; 0.225728; 0.158136; 0.217816; 0.230206}. В этом случае условие (4), а именно: $\max\{|\alpha_i(4)-\alpha_i(3)|\}=0.00000246<\varepsilon$ уже выполняется, что является основанием для прекращения вычислений. Это означает, что $\alpha_1(4)$; $\alpha_2(4)$; ...; $\alpha_{14}(4)$ являются итоговыми весами ФИПСx_i (i=1÷14).

Метод экспертных оценок предполагает обсуждение ФИПСдругой группой привлечённых специалистов.Каждому эксперту предоставляется перечень оценочных критериев и предлагается в индивидуальном порядке дать независимую оценку уровня ИПС по, например, следующей пятибалльной шкале: 1 – НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНЫЙ, 2 – УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНЫЙ; 3 – БОЛЕЕ ЧЕМ УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНЫЙ; 4 – ОЧЕНЬ УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНЫЙ; 5 – БЕЗУПРЕЧНЫЙ. Далее экспертные оценки подвергаются анализу на предмет их согласованности (или противоречивости) по правилу: максимально допустимая разница между двумя экспертными заключениями по любому оценочному критерию относительно ФИПС x_i (i=1÷14) не должна превышать 3. Это правило позволяет фильтровать недопустимые отклонения в экспертных оценках по каждому ФИПС. Выведение суммарного индекса, теоретически располагающегося в пределах от 0 до 100, можно осуществить посредством формулы

$$r_1=100\times\left[\sum_{i=1}^{14}\alpha_i e_i\right]\Big/\left[\max_i\sum_{i=1}^{14}\alpha_i e_i\right], \qquad (6)$$

где α_i – весовой коэффициент, отражающий значимостьi-го ФИПС;e_i – консолидированная экспертная оценка ИПС по i-му фактору влияния;максимальное значение R означает максимальный уровень ИПС, и наоборот, или с помощью формулы средневзвешенной оценки

$$r_2=\left[\sum_{i=1}^{14}\alpha_i e_i\right]\Big/\left[\sum_{i=1}^{14}\alpha_i\right]. \qquad (7)$$

Теперь представим, что экспертному сообществу было предложено по упомянутой выше пятибалльной системе протестировать 10 альтернативных стран: a_k (k=1÷10) на предмет оценки степени влияния ФИПС x_i (i=1÷14) на уровень их инвестиционной привлекательности. В результатеконсолидации экспертных заключений относительно влияния ФИПС в виде средних арифметических усреднениий применения для заявленных стран формул (6) и (7), получены агрегированные оценки уровней ИПС, сведённые в таблицу 3.

Таблица 3. Агрегированные экспертные оценки ИПС

Страна	Веса ФИПС														r_1	r_2
	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6	α_7	α_8	α_9	α_{10}	α_{11}	α_{12}	α_{13}	α_{14}		
a_1	4.25	2.25	4.75	1.55	4.75	2.65	3.35	2.70	3.25	2.65	4.45	4.85	2.85	4.25	71.67	3.58
a_2	4.85	4.65	3.55	4.60	3.95	4.15	3.25	2.85	4.85	3.75	3.65	3.85	3.00	4.25	78.57	3.93
a_3	0.75	4.25	1.55	0.55	4.10	2.35	2.00	3.75	4.65	1.35	4.35	1.55	0.85	3.45	48.79	2.44
a_4	4.30	3.15	0.45	4.75	1.45	3.15	1.10	3.30	2.15	0.15	2.00	1.15	1.25	0.35	40.51	2.03
a_5	3.25	2.95	1.10	4.15	3.35	4.45	1.45	1.35	0.25	4.15	3.95	4.50	2.25	2.10	53.95	2.70
a_6	2.65	2.85	2.15	2.40	3.95	0.95	1.85	3.05	2.20	4.45	1.45	1.35	0.55	0.35	39.89	1.99
a_7	2.45	3.75	1.00	1.05	4.25	2.15	3.25	4.65	1.00	1.80	2.65	0.25	0.85	2.65	44.48	2.22
a_8	2.50	4.55	4.25	2.25	2.00	2.75	1.85	4.00	1.65	1.95	0.15	3.15	3.95	3.65	56.11	2.81
a_9	0.75	0.75	3.55	1.50	0.45	2.85	3.50	3.85	2.35	3.75	3.10	2.25	0.65	2.10	46.63	2.33
a_{10}	1.00	2.15	1.45	1.65	4.85	2.95	1.65	3.85	0.85	1.25	4.55	3.45	0.20	1.55	42.47	2.12

IV. Оценка ИПС с применением системы нечёткого вывода

Исходя из «размытости» и неоднозначности оценок слабо структурированных ФИПС, в качестве качественного критерия оценки рассмотримоценочное понятие«БЛАГОПРИЯТНЫЙ»,которое, являясь одним из термов лингвистической переменной «*уровень среды*» (политической, социальной, экономической и т.д. по списку), может быть использован для оценки уровня ИПС. Взяв за основу консолидированные экспертные оценки ИПС по каждому из ФИПС(см. Табл. 3) и Гауссовскую функцию $\mu(e)$=exp{-(e-5)^2/σ^2}, где σ^2=4 – плотность, построим нечёткие подмножества дискретного универсума U={a_1, a_2, …, a_{10}}, отражающие критерий БЛАГОПРИЯТНЫЙ для оценки каждого ФИПС:

C_1={0.8688/a_1; 0.9944/a_2; 0.0109/a_3; 0.8847/a_4; 0.4650/a_5; 0.2514/a_6; 0.1968/a_7; 0.2096/a_8; 0.2096/a_9; 0.0183/a_{10}};

C_2={0.1510/a_1; 0.9698/a_2; 0.8688/a_3; 0.4250/a_4; 0.3497/a_5; 0.3149/a_6; 0.6766/a_7; 0.9506/a_8; 0.0109/a_9; 0.1313/a_{10}};

C_3={0.9845/a_1; 0.5912/a_2; 0.0510/a_3; 0.0057/a_4; 0.0223/a_5; 0.1313/a_6; 0.0183/a_7; 0.8688/a_8; 0.5912/a_9; 0.0428/a_{10}};

C_4={0.0510/a_1; 0.9608/a_2; 0.0071/a_3; 0.9845/a_4; 0.8347/a_5; 0.1845/a_6; 0.0202/a_7; 0.1510/a_8; 0.0468/a_9; 0.0605/a_{10}};

C_5={0.9845/a_1; 0.7591/a_2; 0.8167/a_3; 0.0428/a_4; 0.5063/a_5; 0.7591/a_6; 0.8688/a_7; 0.1054/a_8; 0.0057/a_9; 0.9944/a_{10}};

C_6={0.2514/a_1; 0.8347/a_2; 0.1728/a_3; 0.4250/a_4; 0.9272/a_5; 0.0166/a_6; 0.1313/a_7; 0.2821/a_8; 0.3149/a_9; 0.3497/a_{10}};

C_7={0.5063/a_1; 0.4650/a_2; 0.1054/a_3; 0.0223/a_4; 0.0428/a_5; 0.0837/a_6; 0.4650/a_7; 0.0837/a_8; 0.5698/a_9; 0.0605/a_{10}};

C_8={0.2665/a_1; 0.3149/a_2; 0.6766/a_3; 0.4855/a_4; 0.0358/a_5; 0.3865/a_6; 0.9698/a_7; 0.7788/a_8; 0.7185/a_9; 0.7185/a_{10}};

C_9={0.4650/a_1; 0.9944/a_2; 0.9698/a_3; 0.1313/a_4; 0.0036/a_5; 0.1409/a_6; 0.0183/a_7; 0.0605/a_8; 0.1728/a_9; 0.0135/a_{10}};

C_{10}={0.2514/a_1; 0.6766/a_2; 0.0358/a_3; 0.0028/a_4; 0.8347/a_5; 0.9272/a_6; 0.0773/a_7; 0.0977/a_8; 0.6766/a_9; 0.0297/a_{10}};

C_{11}={0.9272/a_1; 0.6341/a_2; 0.8998/a_3; 0.1054/a_4; 0.7591/a_5; 0.0428/a_6; 0.2514/a_7; 0.0028/a_8; 0.4056/a_9; 0.9506/a_{10}};

C_{12}={0.9944/a_1; 0.7185/a_2; 0.0510/a_3; 0.0246/a_4; 0.9394/a_5; 0.0358/a_6; 0.0036/a_7; 0.4250/a_8; 0.1510/a_9; 0.5485/a_{10}};

C_{13}={0.3149/a_1; 0.3679/a_2; 0.0135/a_3; 0.0297/a_4; 0.1510/a_5; 0.0071/a_6; 0.0135/a_7; 0.7591/a_8; 0.0088/a_9; 0.0032/a_{10}};

C_{14}={0.8688/a_1; 0.8688/a_2; 0.5485/a_3; 0.0045/a_4; 0.1222/a_5; 0.0045/a_6; 0.2514/a_7; 0.6341/a_8; 0.1222/a_9; 0.0510/a_{10}}.

В качестве оценочных понятий, характеризующих уровни инвестиционной привлекательности, выберем термы выходной лингвистической переменной y, которые зададим в виде нечётких подмножеств дискретного множества J={0; 0.1; 0.2;…;1} следующим образом$\forall j \in J$: S=ПРИЕМЛЕМАЯ, $\mu_S(j)=j$; MS=БОЛЕЕ ЧЕМ ПРИЕМЛЕМАЯ, $\mu_{MS}(j)=j^{1/2}$; P=БЕЗУПРЕЧНАЯ, $\mu_L(j)$=1, еслиj=1 и $\mu_L(j)$=0, еслиj<1; VS=ОЧЕНЬ ПРИЕМЛЕМАЯ, $\mu_{VS}(j)=j^2$; US=НЕПРИЕМЛЕМАЯ, $\mu_{US}(j)$=1-j. Тогда для описания причинно-следственных связей между ФИПС, с одной стороны, и уровнями ИПС, с другой, воспользуемся следующим набором импликативных правил в символьной форме:

d_1: $(x_1=C_1)$ & $(x_3=C_3)$ & $(x_7=C_7)$ & $(x_9=C_9)$ & $(x_{11}=C_{11})$ & $(x_{12}=C_{12})$ & $(x_{14}=C_{14}) \Rightarrow (y=S)$;

d_2: $(x_1=C_1)$ & $(x_2=C_2)$ & $(x_3=C_3)$ & $(x_7=C_7)$ & $(x_8=C_8)$ & $(x_9=C_9)$ & $(x_{11}=C_{11})$ & $(x_{12}=C_{12})$ & $(x_{14}=C_{14}) \Rightarrow (y=MS)$;

d_3: $(x_1=C_1)$ & $(x_2=C_2)$ & $(x_3=C_3)$ & $(x_4=C_4)$ & $(x_5=C_5)$ & $(x_6=C_6)$ & $(x_7=C_7)$ & $(x_8=C_8)$ & $(x_9=C_9)$ & $(x_{10}=C_{10})$ & $(x_{11}=C_{11})$ & $(x_{12}=C_{12})$ & $(x_{13}=C_{13})$ & $(x_{14}=C_{14}) \Rightarrow (y=P)$;

d_4: $(x_1=C_1)$ & $(x_3=C_3)$ & $(x_6=C_6)$ & $(x_7=C_7)$ & $(x_8=C_8)$ & $(x_9=C_9)$ & $(x_{10}=C_{10})$ & $(x_{11}=C_{11})$ & $(x_{12}=C_{12})$ & $(x_{13}=C_{13})$ & $(x_{14}=C_{14}) \Rightarrow (y=VS)$;

d_5: $(x_1=C_1)$ & $(x_2=C_2)$ & $(x_3=C_3)$ & $(x_4=C_4)$ & $(x_5=C_5)$ & $(x_6=C_6)$ & $(x_7=\neg C_7)$ & $(x_9=C_9)$ & $(x_{10}=\neg C_{10})$ & $(x_{11}=C_{11})$ & $(x_{12}=\neg C_{12})$ & $(x_{13}=C_{13})$ & $(x_{14}=C_{14}) \Rightarrow (y=S)$;

d_6: $(x_1=\neg C_1)$ & $(x_3=\neg C_3)$ & $(x_6=\neg C_6)$ & $(x_{11}=\neg C_{11})$ & $(x_{14}=\neg C_{14}) \Rightarrow (y=US)$.

Проведение нечёткой операции «&» путём нахождения минимума соответствующих функций принадлежности нечётких множеств из левых частей правил трансформирует их в следующий более компактный вид:

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

M_1={0.4650/a_1; 0.4650/a_2; 0.0109/a_3; 0.0045/a_4; 0.0036/a_5; 0.0045/a_6; 0.0036/a_7; 0.0028/a_8; 0.0109/a_9; 0.0135/a_{10}};

M_2={0.1510/a_1; 0.3149/a_2; 0.0109/a_3; 0.0045/a_4; 0.0036/a_5; 0.0045/a_6; 0.0036/a_7; 0.0028/a_8; 0.0109/a_9; 0.0135/a_{10}};

M_3={0.0510/a_1; 0.3149/a_2; 0.0071/a_3; 0.0028/a_4; 0.0036/a_5; 0.0045/a_6; 0.0036/a_7; 0.0028/a_8; 0.0057/a_9; 0.0032/a_{10}};

M_4={0.2514/a_1; 0.3149/a_2; 0.0109/a_3; 0.0028/a_4; 0.0036/a_5; 0.0045/a_6; 0.0036/a_7; 0.0028/a_8; 0.0088/a_9; 0.0032/a_{10}};

M_5={0.0056/a_1; 0.2815/a_2; 0.0071/a_3; 0.0045/a_4; 0.0036/a_5; 0.0045/a_6; 0.0135/a_7; 0.0028/a_8; 0.0057/a_9; 0.0032/a_{10}};

M_6={0.0155/a_1; 0.0056/a_2; 0.1002/a_3; 0.1153/a_4; 0.0728/a_5; 0.7486/a_6; 0.7486/a_7; 0.1312/a_8; 0.4088/a_9; 0.0494/a_{10}}.

В результате преобразования правил $d_1 \div d_6$ посредством импликации Лукасевича [5]: $\mu_{U\times J}(a, j)=\min\{1, 1-\mu_U(a)+\mu_J(j)\}$, для каждой пары $(a, j)\in U\times J$ получены соответствующие нечёткие отношения на $U\times J$: R_1, R_2, …, R_6, пересечение которых в итоге дало общее функциональное решение R, отражающее причинно-следственную связь между ФИПС x_i (i=1÷14), с одной стороны, и, собственно, уровнями ИПС, с другой:

$$R=\begin{array}{c|ccccccccccc}
 & 0 & 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.4 & 0.5 & 0.6 & 0.7 & 0.8 & 0.9 & 1 \\ \hline
a_1 & 0.5350 & 0.6350 & 0.7350 & 0.8350 & 0.9086 & 0.9490 & 0.9490 & 0.9490 & 0.9490 & 0.9490 & 0.9845 \\
a_2 & 0.5350 & 0.6350 & 0.6851 & 0.6851 & 0.6851 & 0.6851 & 0.6851 & 0.6851 & 0.6851 & 0.6851 & 0,9944 \\
a_3 & 0.9891 & 0.9929 & 0.9929 & 0.9929 & 0.9929 & 0.9929 & 0.9929 & 0.9929 & 0.9929 & 0.9929 & 0.8998 \\
a_4 & 0.9955 & 0.9972 & 0.9972 & 0.9972 & 0.9972 & 0.9972 & 0.9972 & 0.9972 & 0.9972 & 0.9847 & 0.8847 \\
a_5 & 0.9964 & 0.9964 & 0.9964 & 0.9964 & 0.9964 & 0.9964 & 0.9964 & 0.9964 & 0.9964 & 0.9964 & 09272 \\
a_6 & 0.9955 & 0.9955 & 0.9955 & 0.9514 & 0.8514 & 0.7514 & 0.6514 & 0.5514 & 0.4514 & 0.3514 & 0.2514 \\
a_7 & 0.9865 & 0.9964 & 0.9964 & 0.9514 & 0.8514 & 0.7514 & 0.6514 & 0.5514 & 0.4514 & 0.3514 & 0.2514 \\
a_8 & 0.9972 & 0.9972 & 0.9972 & 0.9972 & 0.9972 & 0.9972 & 0.9972 & 0.9972 & 0.9972 & 0.9688 & 0.8688 \\
a_9 & 0.9891 & 0.9943 & 0.9943 & 0.9943 & 0.9943 & 0.9943 & 0.9912 & 0.8912 & 0.7912 & 0.6912 & 0.5912 \\
a_{10} & 0.9865 & 0.9968 & 0.9968 & 0.9968 & 0.9968 & 0.9968 & 0.9968 & 0.9968 & 0.9968 & 0.9968 & 0.9506
\end{array}.$$

Далее, для определения уровня ИПС применяется правило композиционного вывода в нечёткой среде [4]: $E_k=G_k{}^\circ R$, где E_k–уровень инвестиционной привлекательности k-ой альтернативы (страны) (k=1÷10), G_k– отображение k-ой альтернативы в виде нечёткого подмножества дискретного универсума U. Тогда, выбирая композиционное правило как $\mu_{E_k}(j)=\max\limits_{a\in U}\{\min[\mu_{G_k}(a), \mu_R(a)]\}$, и, полагая, что в этом случае $\mu_{Gk}(a)=0$, если $a\neq a_k$ и $\mu_{Gk}(a)=1$, если $a=a_k$, в итоге имеем: $\mu_{E_k}(j)=\mu_R(a_k, j)$, т.е.$E_k$ есть k-я строка матрицы R.

С цельюранжирования уровней ИПС по числовым признакам применим процедуру дефаззификации нечётких выходов применённой модели. В частности, для нечёткого вывода относительно уровня инвестиционной привлекательности 1-ой страны (1-я строка матрицы R) E_1={0.5350/0; 0.6350/0.1; 0.7350/0.2; 0.8350/0.3; 0.9086/0.4; 0.9490/0.5; 0.9490/0.6; 0.9490/0.7; 0.9490/0.8; 0.9490/0.9; 0.9845/1} соответственно имеем:

- для $0<\alpha<0.5350$: $\Delta\alpha=0.5350$,$E_{1\alpha}$={0; 0.1; 0.2; 0.3; …; 0.8; 0.9;1},$M(E_{1\alpha})=0.5$;
- для $0.5350<\alpha<0.6350$: $\Delta\alpha=0.1$,$E_{1\alpha}$={0.1; 0.2; 0.3; …;0.9;1},$M(E_{1\alpha})=0.55$;
- для $0.6350<\alpha<0.7350$: $\Delta\alpha=0.1$,$E_{1\alpha}$={0.2; 0.3; …; 0.9; 1},$M(E_{1\alpha})=0.60$;
- для $0.7350<\alpha<0.8350$: $\Delta\alpha=0.1$,$E_{1\alpha}$={0.3; 0.4; 0.5; 0.6; 0.7; 0.8; 0.9; 1},$M(E_{1\alpha})=0.65$;
- для $0.8350<\alpha<0.9086$: $\Delta\alpha=0.0736$,$E_{1\alpha}$={0.4; 0.5; 0.6; 0.7; 0.8; 0.9; 1},$M(E_{1\alpha})=0.70$;

- для $0.9086<\alpha<0.9490$: $\Delta\alpha=0.0404$,$E_{1\alpha}=\{0.5; 0.6; 0.7; 0.8; 0.9; 1\}$,$M(E_{1\alpha})=0.75$;
- для $0.9490<\alpha<0.9845$: $\Delta\alpha=0.0355$, $E_{1\alpha}=\{1\}$. $M(E_{1\alpha})=1$.

Тогла численная оценка нечёткого выходаE_1находится в виде[4]:

$$F(E_1)=\alpha_{\max}^{-1}\int_0^{\alpha_{\max}} M(E_{1\alpha})d\alpha=(0.5\cdot 0.535+0.55\cdot 0.1+...+1\cdot 0.0355)/0.9845=0.5737$$

Аналогичными действиями устанавливаются численные оценки нечётких выводов относительно уровней ИПС остальных альтернатив: a_2 – $F(E_2)=0.6656$; a_3 – $F(E_3)=0.4955$; a_4 – $F(E_4)=0.4938$; a_5 – $F(E_5)=0.4965$; a_6 – $F(E_6)=0.3417$; a_7 – $F(E_7)=0.3419$; a_8 – $F(E_8)=0.4921$; a_9 – $F(E_9)=0.4492$; a_{10} – $F(E_{10})=0.4982$.

V. Оценка ИПС нечётким методом максиминной свёртки

Построенные в Разделе 4 нечёткие подмножества C_i ($i=1\div14$) универсума $\{a_1, a_2, ..., a_{10}\}$ описывают качественные критерии оценки посредством Гауссовской функции принадлежности,через значения которой проявляются отношения каждого из ФИПС x_i к соответствующему критерию оценки. Полагая, что критерии C_iимеют одинаковую значимость, искомое множество альтернатив Cопределим путём пересечения нечётких множеств, содержащих оценки альтернативных стран по критериям выбора: $C=C_1\cap C_2\cap\ldots\cap C_{14}$. Тогда, согласно нечёткому методу максиминной свёртки, с точки зрения инвестиционной привлекательности наилучшей считается та страна, которая с максимальной степенью принадлежит к нечёткому множеству A. В этом случае операция пересечения нечётких множеств осуществляется согласно правилу $\mu_C(a_k)=\min\{\mu_{Ci}(a_k)\}$.

В рассматриваемом случае искомое множество альтернатив формируется как:

A=[min{0.8688; 0.1510; 0.9845; 0.0510; 0.9845; 0.2514; 0.5063; 0.2665; 0.4650; 0.2514; 0.9272; 0.9944; 0.3149; 0.8688}; {0.9944; 0.9698; 0.5912; 0.9608; 0.7591; 0.8347; 0.4650; 0.3149; 0.9944; 0.6766; 0.6341; 0.7185; 0.3679; 0.8688}; {0.0109; 0.8688; 0.0510; 0.0071; 0.8167; 0.1728; 0.1054; 0.6766; 0.9698; 0.0358; 0.8998; 0.0510; 0.0135; 0.5485}; {0.8847; 0.4250; 0.0057; 0.9845; 0.0428; 0.4250; 0.0223; 0.4855; 0.1313; 0.0028; 0.1054; 0.0246; 0.0297; 0.0045}; {0.4650; 0.3497; 0.0223; 0.8347; 0.5063; 0.9272; 0.0428; 0.0358; 0.0036; 0.8347; 0.7591; 0.9394; 0.1510; 0.1222}; {0.2514; 0.3149; 0.1313; 0.1845; 0.7591; 0.0166; 0.0837; 0.3865; 0.1409; 0.9272; 0.0428; 0.0358; 0.0071; 0.0045}; {0.1968; 0.6766; 0.0183; 0.0202; 0.8688; 0.1313; 0.4650; 0.9698; 0.0183; 0.0773; 0.2514; 0.0036; 0.0135; 0.2514}; {0.2096; 0.9506; 0.8688; 0.1510; 0.1054; 0.2821; 0.0837; 0.7788; 0.0605; 0.0977; 0.0028; 0.4250; 0.7591; 0.6341}; {0.0109; 0.0109; 0.5912; 0.0468; 0.0057; 0.3149; 0.5698; 0.7185; 0.1728; 0.6766; 0.4056; 0.1510; 0.0088; 0.1222}; {0.0183; 0.1313; 0.0428; 0.0605; 0.9944; 0.3497; 0.0605; 0.7185; 0.0135; 0.0297; 0.9506; 0.5485; 0.0032; 0.0510}].

Ранжирование стран по уровню ИПС осуществляется на основе результирующего вектора приоритетов, который согласно [4] имеет вид: $\max\{\mu_C(a_k)\}$=max{0.0510; 0.3149; 0.0071; 0.0028; 0.0036; 0.0045; 0.0036; 0.0028; 0.0057; 0.0032}. Это означает, что с точки зрения инвестиционной привлекательности наилучшей является странаa_2, которой соответствует наибольшее значение 0.3149. Следом за ней расположились: a_1 – 0.0510; a_3 – 0.0071; a_9 – 0.0057 и т.д.по убыванию.

VI. Заключение

В рамках первого подхода на базе согласованных экспертных заключений относительно приоритетности ФИПС идентифицированы их веса α_i ($i=1\div14$), что стало основанием для формирования итоговых оценок уровней ИПС по формулам (6) и (7). Методы нечёткого вывода и максиминной свёртки, которые, используя другой способ агрегации экспертных оценок влияния ФИПС на уровень инвестиционной привлекательности, компилируют экспертные знания и, тем самым, решают поставленную задачу. Сравнение полученных всеми методами результатов оценки уровней инвестиционной привлекательностидля рассмотренных гипотетических альтернативныхстранa_k ($k=1\div10$) представлено в Табл. 4.

Таблица 4. – Сравнительный анализ результатов оценки уровней СР

Страны	Экспертные методы оценки				Нечёткие методы оценки			
	Критерий (6)	Порядок	Критерий (7)	Порядок	Нечёткий вывод	Порядок	Maxmin	Порядок
a_1	71.67	2	3.58	2	0.5737	2	0.0510	2
a_2	78.57	1	3.93	1	0.6656	1	0.3149	1
a_3	48.79	5	2.44	5	0.4955	5	0.0071	3
a_4	40.51	9	2.03	9	0.4938	6	0.0028	9, 10
a_5	53.95	4	2.70	4	0.4965	4	0.0036	6, 7
a_6	39.89	10	1.99	10	0.3417	10	0.0045	5
a_7	44.48	7	2.22	7	0.3419	9	0.0036	7, 6
a_8	56.11	3	2.81	3	0.4921	7	0.0028	10, 9
a_9	46.63	6	2.33	6	0.4492	8	0.0057	4
a_{10}	42.47	8	2.12	8	0.4982	3	0.0032	8

Как видно из Табл. 4, ранжирование стран по уровню инвестиционной привлекательности на основе критериев (6) и (7) полностью совпадают. Также совпадают порядки оценок первых двух стран, полученные с применением всех методов. В остальных случаях оценки, полученные нечётким методом максиминной свёртки, сильно резонируют с остальными. Но это и понятно, т.к. данный метод, являясь относительно «грубым», заточен на выбор наилучшей альтернативы, чем, собственно, он и проявил себя. Остальные оценки, полученные с применением метода нечёткого вывода, также несколько отличаются от экспертных. Это можно объяснить тем, что исходные экспертные данные относительного влияния ФИПС несущественно отличаются друг от друга. Тем не менее, мы склонны считать ранжирование на основе метода нечёткого вывода более достоверным, т.к. применяемый здесь механизм логического вывода более «чувствителен» к незначительным расхождениям в исходных данных и является гибким для лиц, ответственных за принятие соответствующих решений.

Литература

[1]. Аксенова Н.И., Приходько Е.А. Современные подходы к оценке инвестиционной привлекательности страны // Финансы и кредит, 32(416), 2010, стр. 56-64.

[2]. Lin, A.S.: A Note on the concordance correlation coefficient. Biometrics 56, 324–325 (2012).

[3]. Lin, A.S., Wu, W.: Statistical tools for measuring agreement. Springer, New York (2012).

[4]. Rzayev R.R. et al. Two Approaches to Country Risk Evaluation // Advances in Information and Communication, Vol. 1, pp. 793-812, 2019.

[5]. Lukasiewicz J. On three-valued logic: Selected Works / Ed. by Borkowski L, Amsterdam: NorthHolland Publishing Company, 1970, pp. 87–88.

Gasimov G.G., et. al. "Multivariate assessment of investment attractiveness of countries based on a compilation of expert knowledge."*American Journal of Engineering Research (AJER),* vol. 11(11), 2022, pp. 41-48.