

## ОЦЕНКА ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕГИОНА В РАМКАХ ПРОГРАММЫ СОТРУДНИЧЕСТВА FAO UN<sup>1</sup> С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА НЕЧЁТКОГО ВЫВОДА

\*Институт систем управления НАН Азербайджана, г. Баку, Азербайджан

**Анотація.** Пропонується підхід до оцінки рівня продовольчої безпеки для регіонів у рамках Програми партнерства FAO. Застосовується механізм нечіткого виведення для оцінки впливу на продовольчу безпеку в регіонах чинників, які формують основи для стратегічних цілей, затверджених Стратегічною рамковою програмою FAO UN на 2014 – 2017 роки.

**Ключові слова:** продовольча безпека, когнітивна карта, нечітка когнітивна модель, система нечіткого виведення.

**Аннотация.** Предлагается подход к оценке уровня продовольственной безопасности для регионов в рамках Программы партнёрства FAO. Применяется механизм нечёткого вывода для оценки влияния на продовольственную безопасность в регионах факторов, формирующих основания для стратегических целей, утверждённых в Стратегической рамочной программе FAO UN на 2014 – 2017 годы.

**Ключевые слова:** продовольственная безопасность, когнитивная карта, нечёткая когнитивная модель, система нечёткого вывода.

**Abstract.** It is proposed an approach for assessing the level of food security for the regions within the framework of the FAO Partnership Program. It is used a mechanism of fuzzy inference to assess the influence on food security in the regions that form the basis for the Strategic Targets approved in the FAO Strategic Framework Program for 2014 – 2017.

**Keywords:** food security, cognitive map, fuzzy cognitive model, fuzzy inferences system.

### 1. Введение

Главной целью Программы партнёрства (ПП) FAO с различными региональными центрами-партнёрами является создание содержательной, финансовой и оперативной основы для активного сотрудничества в области обеспечения продовольственной безопасности (ПБ) и сокращения нищеты в сельских районах в странах-бенефициарах. Деятельность ПП FAO определяется как текущими потребностями, так и необходимостью решения наиболее приоритетных (острых) проблем, выявляемых заинтересованными сторонами национального и/или субрегионального уровней, о которых они ставят в известность FAO PP в форме официальных запросов. С этой целью FAO старается применять программный подход в соответствии со своей новой Стратегической рамочной программой на 2010–2019 годы [1].

В работе [2] была предложена нечёткая когнитивная модель (НКМ) для комплексной оценки ПБ по результатам отчётов FAO, которая призвана обеспечить целостность, согласованность и синергетический эффект мероприятий, проводимых при поддержке отдельных программ, проектов и/или стран в соответствии со стратегическими целями (СЦ) FAO по следующим пяти основаниям: 1) голод, проблемы отсутствия ПБ и нищеты; 2) предоставление товаров и услуг со стороны сельского, лесного и рыбного хозяйства устойчивым образом; 3) масштабы нищеты в сельских районах; 4) предпосылки к созданию на местном, государственном, региональном и международном уровнях более

<sup>1</sup>Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (FAO UN – Food and Agriculture Organization of the United Nations).

широких по охвату и более эффективных сельскохозяйственных и продовольственных систем; 5) устойчивость средств к существованию перед угрозами и кризисами.

Благодаря предложенному в [2] комплексному подходу, можно обеспечивать транспарантное стратегическое руководство, определять общее направление деятельности FAO, а также осуществлять общий надзор и контроль за управлением ПП FAO. Но самое главное, как нам кажется, можно обеспечить проведение первичного технического анализа проектов на предмет оценки уровня ПБ в регионе, исходя из чего рассматривать и более обоснованно утверждать их финансирование в условиях ограниченности ресурсов FAO.

## 2. Постановка задачи

Итак, в контексте вышесказанного необходимо апробировать предложенный в [2] подход к средству программной симуляции процесса всеобъемлющей оценки уровня ПБ на примере нескольких гипотетических регионов, прошедших первичный технический анализ и характеризующихся на предварительном этапе экспертными оценками по всем факторам, служащим основаниями для формирования СЦ FAO, в виде следующей табл. 1.

Таблица 1. Предварительная экспертная оценка альтернативных проектов

Основание для СЦ FAO	Фактор, определяющий СЦ FAO	Экспертные оценки альтернативных проектов по 10-балльной шкале				Критерий оценки (термножество)
		$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	
1. Голод, проблемы отсутствия ПБ и нищеты	$x_{11}$ – Физическая доступность ресурсов	7,76	2,17	8,95	3,24	НЕОГРАНИЧЕННАЯ
	$x_{12}$ – Экономическая доступность ресурсов	6,67	3,91	2,77	3,48	НЕОГРАНИЧЕННАЯ
	$x_{13}$ – Доходы населения	9,29	4,11	9,78	1,00	ВЫСОКИЕ
	$x_{14}$ – Доступ населения к производственным активам	4,68	5,73	9,82	4,21	НЕОГРАНИЧЕННЫЙ
	$x_{15}$ – Экономические и другие кризисы	0,34	7,74	4,17	9,79	НЕОЩУТИМЫЕ
	$x_{16}$ – Политические обязательства страны	5,74	2,22	5,83	1,34	ДОСТАТОЧНЫЕ
	$x_{17}$ – Общее понимание проблем и решений	5,65	7,25	7,15	9,62	ПОЛНОЕ
	$x_{18}$ – Механизмы управления и координации	0,62	2,54	7,06	1,99	ЭФФЕКТИВНЫЕ
	$x_{19}$ – Согласованность стратегий, программ и инвестиций	5,05	1,66	7,31	8,59	СИЛЬНАЯ
	$x_{1,10}$ – Гендерное неравенство	3,33	8,56	0,31	3,96	ОТСУТСТВУЕТ
2. Предоставление товаров и услуг со стороны сельского, лесного и рыбного хозяйства устойчивым образом	$x_{21}$ – Нехватка и деградация базы природных ресурсов	0,19	1,01	3,21	6,01	НЕОЩУТИМЫЕ
	$x_{22}$ – Экосистемные услуги и биологическое разнообразие	9,94	6,32	4,78	3,56	ШИРОКИЕ
	$x_{23}$ – Изменение климата	7,81	6,45	6,90	7,22	НЕЗНАЧИТЕЛЬНОЕ
	$x_{24}$ – Миграция	6,91	4,01	4,89	8,18	НЕСУЩЕСТВЕННАЯ
	$x_{25}$ – Новые угрозы	5,48	7,71	7,73	3,49	НЕСУЩЕСТВЕННЫЕ
	$x_{26}$ – Узкие места в части управления и разработки политики	0,62	4,40	1,38	4,80	ОТСУТСТВУЮТ

Продолж. табл. 1

	$x_{27}$ – Устойчивость экологического развития	2,91	5,71	6,11	8,83	СИЛЬНАЯ
	$x_{28}$ – Устойчивость экономического развития	0,49	5,30	9,73	9,54	СИЛЬНАЯ
	$x_{29}$ – Устойчивость социального развития	6,76	6,39	1,70	2,47	СИЛЬНАЯ
3. Масштабы нищеты в сельских районах	$x_{31}$ – Ориентированность политики	8,80	6,92	6,00	7,65	НАЦЕЛЕННАЯ
	$x_{32}$ – Доступ к производственным активам и ресурсам	5,38	9,52	4,79	3,06	ДОСТАТОЧНЫЙ
	$x_{33}$ – Доступ к услугам	6,05	1,45	7,87	0,78	ДОСТАТОЧНЫЙ
	$x_{34}$ – Общественные организации (социальный капитал)	4,31	4,45	0,41	7,05	СИЛЬНЫЕ
	$x_{35}$ – Возможности занятости	0,17	4,54	4,49	9,40	ОГРАНИЧЕННЫЕ
	$x_{36}$ – Условия труда	8,17	9,13	1,10	4,48	НЕДОСТОЙНЫЕ
	$x_{37}$ – Социальная защита	1,97	3,24	4,90	3,44	НЕДОСТАТОЧНАЯ
4. Предпосылки к созданию на местном, государственном, региональном и международном уровнях более широких по охвату и более эффективных сельскохозяйственных и продовольственных систем	$x_{41}$ – Благоприятность условия	9,42	8,20	2,23	3,29	ДОСТАТОЧНО БЛАГОПРИЯТНЫЕ
	$x_{42}$ – Потенциал (с учётом частного сектора)	7,86	2,53	3,36	4,95	ВЫСОКИЙ
	$x_{43}$ – Глобальные рыночные системы	1,78	3,87	4,41	4,37	ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫЕ
5. Устойчивость средств к существованию перед угрозами и кризисами	$x_{51}$ – Вероятность стихийных бедствий	8,13	1,07	1,77	8,98	НИЗКАЯ
	$x_{52}$ – Вероятность чрезвычайных ситуаций в продовольственных цепочках	1,14	1,88	1,55	7,87	НИЗКАЯ
	$x_{53}$ – Вероятность социально-экономических кризисов	9,52	4,88	9,51	4,48	НИЗКАЯ
	$x_{54}$ – Вероятность вооружённых конфликтов	5,51	5,97	1,60	6,84	НИЗКАЯ
	$x_{55}$ – Вероятность затяжных кризисов	1,01	4,38	4,35	2,21	НИЗКАЯ
	$x_{56}$ – Параметры устойчивости (уязвимость)	2,68	8,55	1,71	6,54	СЛАБАЯ
	$x_{57}$ – Потребности	9,67	9,06	5,88	7,69	УДОВЛЕТВОРЁННЫЕ
	$x_{58}$ – Гуманитарная защита и защита в переходный период	7,99	9,22	1,55	5,26	СИЛЬНАЯ
	$x_{59}$ – Уровень стратегического партнёрства в достижении результатов	3,83	8,66	3,59	8,98	ВЫСОКИЙ

В табл. 1 в 3–6 колонках приведены обобщённые показатели консолидированного мнения всех экспертов относительно составляющих оснований для формирования СЦ ФАО. При этом эти показатели должны удовлетворять следующим требованиям:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n w_{ki} e_{ki} \rightarrow \max, \\ \sum_{i=1}^n w_{ki} = 1, \end{cases}$$

где  $n$  – число составляющих факторов воздействия на  $k$ -е основание СЦ FAO ( $k=1\div 5$ ),  $w_{ki}$  – значение весового коэффициента  $i$ -го фактора  $k$ -го основания,  $e_{ki}$  – значение показателя консолидированного мнения всех экспертов относительно  $i$ -го фактора  $k$ -го основания, которое определяется в виде следующего усреднения:  $e_{ki} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m e_{ki}^j$ , где  $m$  – число привлечённых экспертов,  $e_{ki}^j$  – оценка  $j$ -го эксперта, данная им  $i$ -му фактору  $k$ -го основания для СЦ FAO. При этом степень согласованности ( $W_k$ ) мнений групп экспертов в целом по совокупности всех факторов в составе  $k$ -го основания для СЦ FAO определяется как

$$W_k = \frac{12 \sum_{i=1}^n \left( e_{ki} - \frac{n+1}{2} \right)^2}{n^3 - n}.$$

### 3. Оценка альтернатив методом нечёткого логического вывода

Рассмотрим задачу численной оценки альтернатив на основе нечётко-множественного анализа их компонент, которые на предварительном этапе получили экспертные оценки по десятибалльной шкале. Для этого воспользуемся методом нечёткого вывода, сущность которого состоит в следующем [3].

Пусть  $U = \{0; 1; \dots; 10\}$  является универсальным дискретным множеством, инициированным десятибалльной шкалой экспертного оценивания, а  $A$  – его нечётким подмножеством, принадлежность к которому элементов из  $U$  определяется соответствующими значениями из отрезка  $[0; 1]$  так называемой функции принадлежности. Предположим, что  $A_j$  как нечёткие подмножества  $U$ , описывают возможные значения (термы) лингвистической переменной (ЛП)  $x$ , которые выступают в качестве критерия оценки рассматриваемых альтернатив. Например, в нашем случае с помощью критерия «ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫЕ» оценивается фактор  $x_{43}$  – Глобальные рыночные системы, определяющий СЦ FAO (табл. 1). Совокупность таких критериев могут характеризовать представления о достаточности или удовлетворительности рассматриваемых альтернатив. Тогда, полагая одно из значений ЛП  $S$  – удовлетворительность искомым термом, как нечёткий вывод относительно степени удовлетворительности альтернативы, типовое импликативное правило запишем, например, как: «Если  $x_1$  = НИЗКОЕ и  $x_2$  = ХОРОШЕЕ, то  $S$  = ВЫСОКАЯ». В общем виде подобные импликативные правила представляются в виде

$$d_i: \text{«Если } x_1 = A_{1i} \text{ и } x_2 = A_{2i} \text{ и } \dots \text{ } x_p = A_{pi}, \text{ то } S = B_i \text{»}, \quad (1)$$

где  $A_{ki}$  ( $k=1\div p$ ) и  $B_i$  ( $i=1, 2, \dots$ ) – нечёткие множества, отражающие термы входных и выходных ЛП соответственно. Для компьютерной реализации правил вида (1) применяется достаточно простая процедура фаззификации для термов из их левых частей [4]: каждый терм из левых частей правил (1) отражается как нечёткое подмножество дискретного множества оцениваемых в табл. 1 альтернатив  $\{a_1, a_2, a_3, a_4\}$  в следующем виде:

$$A_{ki} = \frac{\mu_{A_{ki}}(a_1)}{a_1} + \frac{\mu_{A_{ki}}(a_2)}{a_2} + \frac{\mu_{A_{ki}}(a_3)}{a_3} + \frac{\mu_{A_{ki}}(a_4)}{a_4}, \quad (2)$$

где  $\mu_{A_{ki}}(a_t)$  ( $t=1 \div 4$ ) – значение функции принадлежности, восстанавливающей нечёткое множество  $A_{ki}$ . В качестве таковой нами выбрана следующая гауссовская функция вида

$$\mu_{A_{ki}}(a_t) = \exp\left[-\frac{[e_{ki}(a_t) - 10]^2}{\sigma_{ki}^2}\right], \quad (3)$$

где  $e_{ki}(a_t)$  – консолидированная экспертная оценка альтернативы  $a_t$  ( $t=1 \div 4$ ) на предмет соответствия её критерию оценки по  $i$ -му фактору  $k$ -го основания СЦ FAO (табл. 1);  $\sigma_{ki}^2 = 121$  – плотность распределения ближайших элементов, которая выбрана единой для всех случаев фазификации. На примере критерия оценки  $C_4$  – «ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫЕ», как терма ЛП  $x_{43}$  – Глобальные рыночные системы, согласно (2) – (3), и показателей консолидированной оценки экспертов из табл. 1, в частности, имеем

$$A_{43} = \frac{\mu_{A_{43}}[e_{43}(a_1)]}{a_1} + \frac{\mu_{A_{43}}[e_{43}(a_2)]}{a_2} + \frac{\mu_{A_{43}}[e_{43}(a_3)]}{a_3} + \frac{\mu_{A_{43}}[e_{43}(a_4)]}{a_4} = \frac{0,0022}{a_1} + \frac{0,0329}{a_2} + \frac{0,0584}{a_3} + \frac{0,0562}{a_4}.$$

Далее обозначим пересечение  $x_1 = A_{1i} \cap x_2 = A_{2i} \cap \dots \cap x_p = A_{pi}$  в виде  $x = A_i$ . В дискретном случае операция пересечения нечётких множеств определяется нахождением минимума соответствующих значений их функций принадлежности, то есть путём нахождения

$$\mu_{A_i}(v) = \min\{\mu_{A_i}(u_1), \mu_{A_i}(u_2), \dots, \mu_{A_i}(u_p)\}, \quad (4)$$

где  $V = U_1 \times U_2 \times \dots \times U_p$ ,  $v = (u_1, u_2, \dots, u_p)$ ,  $\mu_{A_i}(u_j)$  – степень принадлежности элемента  $u_j$  нечёткому множеству  $A_i$ . Тогда правила (1) можно представить в более компактном виде:

$$d_i: \text{«Если } x = A_i, \text{ то } S = B_i \text{»}. \quad (5)$$

Для реализации нечётких импликативных правил используются различные операторы нечёткой импликации, например, импликация Лукасевича, которую в принятых обозначениях сформулируем как

$$\mu_H(w, i) = \min\{1, 1 - \mu_A(w) + \mu_B(i)\}, \quad (6)$$

где  $H$  – нечёткое подмножество на  $W \times I$ ,  $w \in W$  и  $i \in I$ .

Аналогичным образом рассуждения (правила)  $d_1, d_2, \dots, d_q$  транспонируются в соответствующие нечёткие множества  $H_1, H_2, \dots, H_q$ . При этом, обозначая их произведение как  $D = H_1 \cap H_2 \cap \dots \cap H_q$ , для каждой пары  $(w, i) \in W \times I$  получим

$$\mu_D(w, i) = \min\{\mu_{H_j}(w, i)\}, j=1 \div q. \quad (7)$$

В этом случае вывод об удовлетворительности альтернативы, описанной нечётким подмножеством  $A$  из  $W$ , можно определить через композиционное правило:

$$G = A \circ D, \quad (8)$$

где  $G$  является нечётким подмножеством единичного интервала  $I$ , « $\circ$ » обозначает операцию композиции правил, которую в принятых выше обозначениях выберем как [4]:

$$\mu_G(i) = \max\{\min[\mu_A(u), \mu_D(w, i)]\}. \quad (9)$$

Сравнение альтернатив осуществляется на основе их точечных оценок. С этой целью вначале для нечёткого подмножества  $C \subset I$  определяются  $\alpha$ -уровневые множества

( $\alpha \in [0;1]$ ) в виде  $C_\alpha = \{i \mid \mu_C(i) \geq \alpha, i \in I\}$ . Затем для каждого из них определяются средние значения (мощность)  $M(C_\alpha)$ . В общем случае для множества, состоящего из  $n$  элементов,

$$M(C_\alpha) = \sum_{j=1}^n \frac{i_j}{n}, i \in C_\alpha. \quad (10)$$

В итоге, численную оценку нечёткого множества  $C$ , отражающего степень удовлетворительности соответствующей альтернативы, можно получить из равенства

$$F(C) = \frac{1}{\alpha_{\max}} \int_0^{\alpha_{\max}} M(C_\alpha) d\alpha. \quad (11)$$

где  $\alpha_{\max}$  – максимальное значение на  $C$ .

#### 4. Оценка уровней продовольственной безопасности в альтернативных регионах в рамках ПП FAO и с учётом СЦ FAO

В рамках предложенной в [2] НКМ для анализа уровня ПБ в регионе (стране) были сформулированы нечёткие логические правила, отражающие причинно-следственные связи для оценки основания, формирующего соответствующую СЦ FAO. В частности, для основания СЦ1 – Уровень голода, проблемы ПБ и нищеты эти правила с учётом данных из табл. 1 будут выглядеть следующим образом:

- $d_{11}$ : «Если  $x_{11}$ =НЕОГРАНИЧЕННАЯ и  $x_{12}$ =НЕОГРАНИЧЕННАЯ и  $x_{13}$ =ВЫСОКИЕ и  $x_{14}$ =НЕОГРАНИЧЕННЫЙ и  $x_{15}$ =НЕОЩУТИМЫЕ и  $x_{16}$ =ДОСТАТОЧНЫЕ и  $x_{17}$ =ПОЛНОЕ и  $x_{18}$ =ЭФФЕКТИВНЫЕ и  $x_{19}$ =СИЛЬНАЯ и  $x_{1,10}$ =ОТСУТСТВУЕТ, то  $y_1$ =АБСОЛЮТНО НЕЧУВСТВИТЕЛЬНАЯ»;
- $d_{12}$ : «Если  $x_{11}$ =НЕОГРАНИЧЕННАЯ и  $x_{12}$ =НЕОГРАНИЧЕННАЯ и  $x_{13}$ =ВЫСОКИЕ и  $x_{16}$ =ДОСТАТОЧНЫЕ и  $x_{17}$ =ПОЛНОЕ и  $x_{18}$ =ЭФФЕКТИВНЫЕ и  $x_{19}$ =СИЛЬНАЯ и  $x_{1,10}$ =ОТСУТСТВУЕТ, то  $y_1$ =ОЧЕНЬ НЕЧУВСТВИТЕЛЬНАЯ»;
- $d_{13}$ : «Если  $x_{11}$ =НЕОГРАНИЧЕННАЯ и  $x_{12}$ =НЕОГРАНИЧЕННАЯ и  $x_{16}$ =ДОСТАТОЧНЫЕ и  $x_{17}$ =ПОЛНОЕ и  $x_{18}$ =ЭФФЕКТИВНЫЕ и  $x_{19}$ =СИЛЬНАЯ, то  $y_1$ =БОЛЕЕ ЧЕМ НЕЧУВСТВИТЕЛЬНАЯ»;
- $d_{14}$ : «Если  $x_{11}$ =НЕОГРАНИЧЕННАЯ и  $x_{12}$ =НЕОГРАНИЧЕННАЯ и  $x_{13}$ =ВЫСОКИЕ и  $x_{14}$ =НЕОГРАНИЧЕННЫЙ, то  $y_1$ =НЕЧУВСТВИТЕЛЬНАЯ»;
- $d_{15}$ : «Если  $x_{11}$ =ОГРАНИЧЕННАЯ и  $x_{12}$ =ОГРАНИЧЕННАЯ и  $x_{13}$ =НИЗКИЕ и  $x_{14}$ =ОГРАНИЧЕННЫЙ, то  $y_1$ =ЧУВСТВИТЕЛЬНАЯ»;
- $d_{16}$ : «Если  $x_{11}$ =ОГРАНИЧЕННАЯ и  $x_{12}$ =ОГРАНИЧЕННАЯ и  $x_{16}$ =НЕДОСТАТОЧНЫЕ и  $x_{17}$ =СЛАБОЕ и  $x_{18}$ =НЕЭФФЕКТИВНЫЕ и  $x_{19}$ =СЛАБАЯ, то  $y_1$ =БОЛЕЕ ЧЕМ ЧУВСТВИТЕЛЬНАЯ»;
- $d_{17}$ : «Если  $x_{11}$ =ОГРАНИЧЕННАЯ и  $x_{12}$ =ОГРАНИЧЕННАЯ и  $x_{13}$ =НИЗКИЕ и  $x_{16}$ =НЕДОСТАТОЧНЫЕ и  $x_{17}$ =СЛАБОЕ и  $x_{18}$ =НЕЭФФЕКТИВНЫЕ и  $x_{19}$ =СЛАБАЯ и  $x_{1,10}$ =ЗАМЕТНОЕ, то  $y_1$ =ОЧЕНЬ ЧУВСТВИТЕЛЬНАЯ»;
- $d_{18}$ : «Если  $x_{11}$ =ОГРАНИЧЕННАЯ и  $x_{12}$ =ОГРАНИЧЕННАЯ и  $x_{13}$ =НИЗКИЕ и  $x_{14}$ =ОГРАНИЧЕННЫЙ и  $x_{15}$ =СУЩЕСТВЕННЫЕ и  $x_{16}$ =НЕДОСТАТОЧНЫЕ и  $x_{17}$ =СЛАБОЕ и  $x_{18}$ =НЕЭФФЕКТИВНЫЕ и  $x_{19}$ =СЛАБАЯ и  $x_{1,10}$ =ЗАМЕТНОЕ, то  $y_1$ =СЛИШКОМ ЧУВСТВИТЕЛЬНАЯ».

Приведённые правила формируют систему нечётких выводов (СНВ) относительно удовлетворительности альтернатив на предмет показателя «Уровень голода и нищеты». Для программной реализации СНВ необходимо описать термы из левых и правых частей правил  $d_{11} - d_{18}$  в виде нечётких множеств.

Согласно (2) и (3), для критериев из левых частей правил  $d_{11} - d_{18}$  имеем:

- физическая доступность ресурсов:  $A_{\text{НЕОГРАНИЧЕННАЯ}} = A_{11} = \frac{0,6325}{a_1} + \frac{0,0038}{a_2} + \frac{0,9039}{a_3} + \frac{0,0158}{a_4}$ ;

- экономическая доступность ресурсов:  $A_{\text{НЕОГРАНИЧЕННАЯ}} = A_{12} = \frac{0,364}{a_1} + \frac{0,034}{a_2} + \frac{0,0086}{a_3} + \frac{0,021}{a_4}$ ;
- доходы населения:  $A_{\text{ВЫСОКИЕ}} = A_{13} = \frac{0,9550}{a_1} + \frac{0,0428}{a_2} + \frac{0,9956}{a_3} + \frac{0,0006}{a_4}$ ;
- доступ к производственным активам:  $A_{\text{НЕОГРАНИЧЕННЫЙ}} = A_{14} = \frac{0,0763}{a_1} + \frac{0,190}{a_2} + \frac{0,997}{a_3} + \frac{0,0477}{a_4}$ ;
- экономические и другие кризисы:  $A_{\text{НЕОЩУТИМЫЕ}} = A_{15} = \frac{0,0002}{a_1} + \frac{0,6283}{a_2} + \frac{0,0456}{a_3} + \frac{0,9959}{a_4}$ ;
- политические обстоятельства страны:  $A_{\text{ДОСТАТОЧНЫЕ}} = A_{16} = \frac{0,1914}{a_1} + \frac{0,0041}{a_2} + \frac{0,2060}{a_3} + \frac{0,0011}{a_4}$ ;
- общее понимание проблем и решений:  $A_{\text{ПОЛНОЕ}} = A_{17} = \frac{0,1786}{a_1} + \frac{0,5024}{a_2} + \frac{0,4771}{a_3} + \frac{0,9868}{a_4}$ ;
- механизмы управления и координации:  $A_{\text{ЭФФЕКТИВНЫЕ}} = A_{18} = \frac{0,0003}{a_1} + \frac{0,006}{a_2} + \frac{0,456}{a_3} + \frac{0,0029}{a_4}$ ;
- механизмы управления и координации:  $A_{\text{СИЛЬНАЯ}} = A_{19} = \frac{0,1081}{a_1} + \frac{0,0018}{a_2} + \frac{0,5189}{a_3} + \frac{0,8353}{a_4}$ ;
- гендерное неравенство:  $A_{\text{ОТСУТСТВУЕТ}} = A_{1,10} = \frac{0,0175}{a_1} + \frac{0,8288}{a_2} + \frac{0,0002}{a_3} + \frac{0,0362}{a_4}$ .

Что касается термов из правых частей – значений выходной лингвистической переменной  $y_1$ , отражающей уровень голода, проблемы ПБ и нищеты в регионе, то их можно достаточно легко описать с помощью функции принадлежности, восстанавливающих соответствующие нечёткие подмножества дискретного универсума  $J = \{0; 0,1; 0,2; \dots; 1\}$ . В частности,  $\forall j \in J$  таковыми будут [4]:  $AS$ =АБСОЛЮТНО НЕЧУВСТВИТЕЛЬНАЯ:

$$\mu_{AS}(j) = \begin{cases} 1, & j = 1, \\ 0, & j < 1; \end{cases} \quad VIS=\text{ОЧЕНЬ НЕЧУВСТВИТЕЛЬНАЯ: } \mu_{VIS}(j)=j^2; \quad MIS=\text{БОЛЕЕ ЧЕМ НЕЧУВСТВИТЕЛЬНАЯ: } \mu_{MIS}(j) = \sqrt{j};$$

$$IS=\text{НЕЧУВСТВИТЕЛЬНАЯ: } \mu_{IS}(j)=j; \quad S=\text{ЧУВСТВИТЕЛЬНАЯ: } \mu_S(j)=1-j;$$

$$MS=\text{БОЛЕЕ ЧЕМ ЧУВСТВИТЕЛЬНАЯ: } \mu_{MS}(j) = \sqrt{1-j}; \quad VS=\text{ОЧЕНЬ ЧУВСТВИТЕЛЬНАЯ: } \mu_{VS}(j)=(1-j)^2;$$

$$TS=\text{СЛИШКОМ ЧУВСТВИТЕЛЬНАЯ: } \mu_{TS}(j) = \begin{cases} 0, & j = 1, \\ 1, & j < 1. \end{cases} \quad \text{Тогда правила } d_{11} - d_{18} \text{ можно сформулировать как:}$$

$d_{11}$ : «Если  $x_{11}=A_{11}$  и  $x_{12}=A_{12}$  и  $x_{13}=A_{13}$  и  $x_{14}=A_{14}$  и  $x_{15}=A_{15}$  и  $x_{16}=A_{16}$  и  $x_{17}=A_{17}$  и  $x_{18}=A_{18}$  и  $x_{19}=A_{19}$  и  $x_{1,10}=A_{1,10}$ , то  $y_1=AS$ »;

$d_{12}$ : «Если  $x_{11}=A_{11}$  и  $x_{12}=A_{12}$  и  $x_{13}=A_{13}$  и  $x_{16}=A_{16}$  и  $x_{17}=A_{17}$  и  $x_{18}=A_{18}$  и  $x_{19}=A_{19}$  и  $x_{1,10}=A_{1,10}$ , то  $y_1=VIS$ »;

$d_{13}$ : «Если  $x_{11}=A_{11}$  и  $x_{12}=A_{12}$  и  $x_{16}=A_{16}$  и  $x_{17}=A_{17}$  и  $x_{18}=A_{18}$  и  $x_{19}=A_{19}$ , то  $y_1=MIS$ »;

$d_{14}$ : «Если  $x_{11}=A_{11}$  и  $x_{12}=A_{12}$  и  $x_{13}=A_{13}$  и  $x_{14}=A_{14}$ , то  $y_1=IS$ »;

$d_{15}$ : «Если  $x_{11}=\neg A_{11}$  и  $x_{12}=\neg A_{12}$  и  $x_{13}=\neg A_{13}$  и  $x_{14}=\neg A_{14}$ , то  $y_1=S$ »;

$d_{16}$ : «Если  $x_{11}=\neg A_{11}$  и  $x_{12}=\neg A_{12}$  и  $x_{16}=\neg A_{16}$  и  $x_{17}=\neg A_{17}$  и  $x_{18}=\neg A_{18}$  и  $x_{19}=\neg A_{19}$ , то  $y_1=MS$ »;

$d_{17}$ : «Если  $x_{11}=\neg A_{11}$  и  $x_{12}=\neg A_{12}$  и  $x_{13}=\neg A_{13}$  и  $x_{16}=\neg A_{16}$  и  $x_{17}=\neg A_{17}$  и  $x_{18}=\neg A_{18}$  и  $x_{19}=\neg A_{19}$  и  $x_{1,10}=\neg A_{1,10}$ , то  $y_1=VS$ »;

$d_{18}$ : «Если  $x_{11}=\neg A_{11}$  и  $x_{12}=\neg A_{12}$  и  $x_{13}=\neg A_{13}$  и  $x_{14}=\neg A_{14}$  и  $x_{15}=\neg A_{15}$  и  $x_{16}=\neg A_{16}$  и  $x_{17}=\neg A_{17}$  и  $x_{18}=\neg A_{18}$  и  $x_{19}=\neg A_{19}$  и  $x_{1,10}=\neg A_{1,10}$ , то  $y_1=TS$ ».

Далее для левых частей этих правил вычислим функции принадлежности:  $\mu_{M_i}(u)$  ( $i = 1 \div 8$ ). В частности, имеем:

$$d_{11}: \mu_{M_1}(u) = \min\{\mu_{A_1}(u), \mu_{A_2}(u), \dots, \mu_{A_{10}}(u)\}, M_1 = \frac{0,0002}{a_1} + \frac{0,0018}{a_2} + \frac{0,0002}{a_3} + \frac{0,0006}{a_4};$$

$$d_{12}: \mu_{M_2}(u) = \min\{\mu_{A_1}(u), \dots, \mu_{A_3}(u), \mu_{A_6}(u), \dots, \mu_{A_{10}}(u)\}, M_2 = \frac{0,0003}{a_1} + \frac{0,0018}{a_2} + \frac{0,0002}{a_3} + \frac{0,0006}{a_4};$$

$$d_{13}: \mu_{M_3}(u) = \min\{\mu_{A_1}(u), \mu_{A_2}(u), \mu_{A_6}(u), \dots, \mu_{A_9}(u)\}, M_3 = \frac{0,0003}{a_1} + \frac{0,0018}{a_2} + \frac{0,0086}{a_3} + \frac{0,0011}{a_4};$$

$$d_{14}: \mu_{M_4}(u) = \min\{\mu_{A_1}(u), \mu_{A_2}(u), \mu_{A_3}(u), \mu_{A_4}(u)\}, M_4 = \frac{0,0763}{a_1} + \frac{0,0038}{a_2} + \frac{0,0086}{a_3} + \frac{0,0006}{a_4};$$

$$d_{15}: \mu_{M_5}(u) = \min\{1 - \mu_{A_1}(u), 1 - \mu_{A_2}(u), 1 - \mu_{A_3}(u), 1 - \mu_{A_4}(u)\}, M_5 = \frac{0,045}{a_1} + \frac{0,8098}{a_2} + \frac{0,0028}{a_3} + \frac{0,952}{a_4};$$

$$d_{16}: \mu_{M_6}(u) = \min\{1 - \mu_{A_1}(u), 1 - \mu_{A_2}(u), 1 - \mu_{A_6}(u), 1 - \mu_{A_7}(u), 1 - \mu_{A_8}(u), 1 - \mu_{A_9}(u)\},$$

$$M_6 = \frac{0,3675}{a_1} + \frac{0,4976}{a_2} + \frac{0,0961}{a_3} + \frac{0,0132}{a_4};$$

$$d_{17}: \mu_{M_7}(u) = \min\{1 - \mu_{A_1}(u), 1 - \mu_{A_2}(u), 1 - \mu_{A_3}(u), 1 - \mu_{A_6}(u), \dots, 1 - \mu_{A_{10}}(u)\},$$

$$M_7 = \frac{0,0450}{a_1} + \frac{0,1712}{a_2} + \frac{0,0044}{a_3} + \frac{0,0132}{a_4};$$

$$d_{18}: \mu_{M_8}(u) = \min\{1 - \mu_{A_1}(u), 1 - \mu_{A_2}(u), 1 - \mu_{A_3}(u), \dots, 1 - \mu_{A_9}(u), 1 - \mu_{A_{10}}(u)\},$$

$$M_8 = \frac{0,0450}{a_1} + \frac{0,1712}{a_2} + \frac{0,0028}{a_3} + \frac{0,0041}{a_4}.$$

В итоге правила запишутся в ещё более компактной форме:

$$d_{11}: \langle \text{Если } x_1=M_1, \text{ то } y_1=AS \rangle; d_{12}: \langle \text{Если } x_1=M_2, \text{ то } y_1=VIS \rangle; d_{13}: \langle \text{Если } x_1=M_3, \text{ то } y_1=MIS \rangle;$$

$$d_{14}: \langle \text{Если } x_1=M_4, \text{ то } y_1=IS \rangle; d_{15}: \langle \text{Если } x_1=M_5, \text{ то } y_1=S \rangle; d_{16}: \langle \text{Если } x_1=M_6, \text{ то } y_1=MS \rangle;$$

$$d_{17}: \langle \text{Если } x_1=M_7, \text{ то } y_1=VS \rangle; d_{18}: \langle \text{Если } x_1=M_8, \text{ то } y_1=TS \rangle.$$

Для преобразования этих правил воспользуемся импликацией Лукасевича (6). Тогда для каждой пары  $(u, j) \in U \times J$  получим следующие нечёткие отношения на  $U \times J$ :

$$R_{11} = \begin{bmatrix} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0,0002 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9998 & 1,0000 \\ 0,0018 & 0,9982 & 0,9982 & 0,9982 & 0,9982 & 0,9982 & 0,9982 & 0,9982 & 0,9982 & 0,9982 & 0,9982 & 1,0000 \\ 0,0002 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9998 & 1,0000 \\ 0,0006 & 0,9994 & 0,9994 & 0,9994 & 0,9994 & 0,9994 & 0,9994 & 0,9994 & 0,9994 & 0,9994 & 0,9994 & 1,0000 \end{bmatrix};$$

$$R_{12} = \begin{bmatrix} & 0 & 0,01 & 0,04 & 0,09 & 0,16 & 0,25 & 0,36 & 0,49 & 0,64 & 0,81 & 1 \\ 0,0003 & 0,9997 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,0018 & 0,9982 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,0002 & 0,9998 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,0006 & 0,9994 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \end{bmatrix};$$

$$R_{13} = \begin{bmatrix} & 0 & 0,3162 & 0,4472 & 0,5477 & 0,6325 & 0,7071 & 0,7746 & 0,8367 & 0,8944 & 0,9487 & 1 \\ 0,0003 & 0,9997 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,0018 & 0,9982 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,0086 & 0,9914 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,0011 & 0,9989 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \end{bmatrix};$$



$$R_{14} = \begin{bmatrix} & 0 & 0,1 & 0,2 & 0,3 & 0,4 & 0,5 & 0,6 & 0,7 & 0,8 & 0,9 & 1 \\ 0,0763 & 0,9237 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,0038 & 0,9962 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,0086 & 0,9914 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \\ 0,0006 & 0,9994 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 \end{bmatrix};$$

$$R_{15} = \begin{bmatrix} & 1 & 0,9 & 0,8 & 0,7 & 0,6 & 0,5 & 0,4 & 0,3 & 0,2 & 0,1 & 0 \\ 0,0450 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 0,9550 \\ 0,8098 & 1,0000 & 1,0000 & 0,9902 & 0,8902 & 0,7902 & 0,6902 & 0,5902 & 0,4902 & 0,3902 & 0,2902 & 0,1902 \\ 0,0028 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 0,9972 \\ 0,9523 & 1,0000 & 0,9477 & 0,8477 & 0,7477 & 0,6477 & 0,5477 & 0,4477 & 0,3477 & 0,2477 & 0,1477 & 0,0477 \end{bmatrix};$$

$$R_{16} = \begin{bmatrix} & 1,0000 & 0,9487 & 0,8944 & 0,8367 & 0,7746 & 0,7071 & 0,6325 & 0,5477 & 0,4472 & 0,3162 & 0,0000 \\ 0,3675 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 0,9487 & 0,6325 \\ 0,4976 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 0,9024 & 0,8024 & 0,7024 & 0,6024 & 0,5024 \\ 0,0961 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 0,9039 \\ 0,0132 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 0,9868 \end{bmatrix};$$

$$R_{17} = \begin{bmatrix} & 1,00 & 0,81 & 0,64 & 0,49 & 0,36 & 0,25 & 0,16 & 0,09 & 0,04 & 0,01 & 0,00 \\ 0,0450 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 0,9950 & 0,9650 & 0,9550 \\ 0,1712 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 0,9888 & 0,9188 & 0,8688 & 0,8388 & 0,8288 \\ 0,0044 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 0,9956 \\ 0,0132 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 0,9968 & 0,9868 \end{bmatrix};$$

$$R_{18} = \begin{bmatrix} & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0,0450 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 0,9550 \\ 0,1712 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 0,8288 \\ 0,0028 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 0,9972 \\ 0,0041 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 1,0000 & 0,9959 \end{bmatrix}.$$

В результате пересечения нечётких отношений  $R_1, R_2, \dots, R_8$  в итоге получим общее функциональное решение, отражающее причинно-следственную связь между факторами, определяющими СЦ1 FAO и, собственно, уровнем голода, проблемы ПБ и нищеты в регионе в виде следующей матрицы:

$$R_1 = \begin{bmatrix} & 0 & 0,1 & 0,2 & 0,3 & 0,4 & 0,5 & 0,6 & 0,7 & 0,8 & 0,9 & 1 \\ a_1 & 0,9237 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9950 & 0,9487 & 0,6325 \\ a_2 & 0,9962 & 0,9982 & 0,9902 & 0,8902 & 0,7902 & 0,6902 & 0,5902 & 0,4902 & 0,3902 & 0,2902 & 0,1902 \\ a_3 & 0,9914 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9039 \\ a_4 & 0,9989 & 0,9477 & 0,8477 & 0,7477 & 0,6477 & 0,5477 & 0,4477 & 0,3477 & 0,2477 & 0,1477 & 0,0477 \end{bmatrix}.$$

Согласно (7) – (9), нечёткий вывод относительно уровня голода, проблемы ПБ и нищеты в регионе  $a_k$  отражается в виде нечёткого подмножества  $E_k$  дискретного универсума  $U = \{0; 0,1; 0,2; \dots; 1\}$  с соответствующими значениями функции принадлежности из  $k$ -ой строки матрицы  $R_1$ . Для численной оценки этих выводов применим к ним процедуру дефаззификации.

Итак, нечёткий вывод относительно уровня голода, проблемы ПБ и нищеты, например, в регионе  $a_2$  интерпретируется в виде следующего нечёткого множества:

$$E_2 = \frac{0,9962}{0} + \frac{0,9982}{0,1} + \frac{0,9902}{0,2} + \frac{0,8902}{0,3} + \frac{0,7902}{0,4} + \frac{0,6902}{0,5} + \frac{0,5902}{0,6} + \frac{0,4902}{0,7} + \frac{0,3902}{0,8} + \frac{0,2902}{0,9} + \frac{0,1902}{1,0}.$$

Устанавливая уровневые множества  $E_{2\alpha}$  ( $\alpha \in [0;1]$ ) и вычисляя соответствующие им мощности  $M(E_{2\alpha})$  по формуле (10), имеем:

- для  $0 < \alpha < 0,1902$ :  $\Delta\alpha=0,1902$ ,  $E_{2\alpha}=\{0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1\}$ ,  $M(E_{2\alpha})=0,5$ ;
- для  $0,1902 < \alpha < 0,2902$ :  $\Delta\alpha=0,1$ ,  $E_{2\alpha}=\{0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9\}$ ,  $M(E_{2\alpha})=0,45$ ;
- для  $0,2902 < \alpha < 0,3902$ :  $\Delta\alpha=0,1$ ,  $E_{2\alpha}=\{0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8\}$ ,  $M(E_{2\alpha})=0,40$ ;
- для  $0,3902 < \alpha < 0,4902$ :  $\Delta\alpha=0,1$ ,  $E_{2\alpha}=\{0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7\}$ ,  $M(E_{2\alpha})=0,35$ ;
- для  $0,4902 < \alpha < 0,5902$ :  $\Delta\alpha=0,1$ ,  $E_{2\alpha}=\{0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6\}$ ,  $M(E_{2\alpha})=0,30$ ;
- для  $0,5902 < \alpha < 0,6902$ :  $\Delta\alpha=0,1$ ,  $E_{2\alpha}=\{0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5\}$ ,  $M(E_{2\alpha})=0,25$ ;
- для  $0,6902 < \alpha < 0,7902$ :  $\Delta\alpha=0,1$ ,  $E_{2\alpha}=\{0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4\}$ ,  $M(E_{2\alpha})=0,20$ ;
- для  $0,7902 < \alpha < 0,8902$ :  $\Delta\alpha=0,1$ ,  $E_{2\alpha}=\{0; 0,1; 0,2; 0,3\}$ ,  $M(E_{2\alpha})=0,15$ ;
- для  $0,8902 < \alpha < 0,9902$ :  $\Delta\alpha=0,1$ ,  $E_{2\alpha}=\{0; 0,1; 0,2\}$ ,  $M(E_{2\alpha})=0,10$ ;
- для  $0,9902 < \alpha < 0,9962$ :  $\Delta\alpha=0,006$ ,  $E_{2\alpha}=\{0; 0,1\}$ ,  $M(E_{2\alpha})=0,05$ ;
- для  $0,9962 < \alpha < 0,9982$ :  $\Delta\alpha=0,002$ ,  $E_{2\alpha}=\{0,1\}$ ,  $M(E_{2\alpha})=0,10$ .

Тогда на основании формулы (11) численная (или точечная) оценка нечёткого вывода  $E_2$  будет получена в следующем виде:

$$F(E_2) = \frac{1}{0,9982} \int_0^{0,9982} M(E_{2\alpha}) d\alpha = (0,5 \cdot 0,1902 + 0,45 \cdot 0,1 + 0,40 \cdot 0,1 + 0,35 \cdot 0,1 + 0,30 \cdot 0,1 + 0,25 \cdot 0,1 + 0,20 \cdot 0,1 + 0,15 \cdot 0,1 + 0,10 \cdot 0,1 + 0,05 \cdot 0,006 + 0,10 \cdot 0,002) = 0,3162.$$

Аналогичными действиями устанавливаем точечные оценки нечётких выводов относительно уровней голода, проблемы ПБ и нищеты и для остальных альтернатив:  $a_1 - F(E_1)=0,4826$ ;  $a_3 - F(E_3)=0,4956$ ;  $a_4 - F(E_4)=0,2491$ .

Далее аналогично произведём оценку основания для СЦ2 FAO. Предоставление товаров и услуг со стороны сельского, лесного и рыбного хозяйства устойчивым образом. С учётом контекстных данных из табл. 1 сформулированные в [2] высказывания, отражающие причинно-следственные связи между соответствующими факторами влияния и, собственно, самим основанием для СЦ2 FAO, будут выглядеть в следующем виде:

- $d_{21}$ : «Если  $x_{21}$ =НЕОЩУТИМЫЕ и  $x_{22}$ =ШИРОКИЕ и  $x_{23}$ =НЕЗНАЧИТЕЛЬНОЕ и  $x_{24}$ =НЕСУЩЕСТВЕННАЯ и  $x_{25}$ =НЕСУЩЕСТВЕННЫЕ и  $x_{26}$ =ОТСУТСТВУЮТ и  $x_{27}$ =СИЛЬНАЯ и  $x_{28}$ =СИЛЬНАЯ и  $x_{29}$ =СИЛЬНАЯ,  $y_2$ =ЧЕРЕСЧУР УСТОЙЧИВЫЙ»;
- $d_{22}$ : «Если  $x_{21}$ =НЕОЩУТИМЫЕ и  $x_{22}$ =ШИРОКИЕ и  $x_{23}$ =НЕЗНАЧИТЕЛЬНОЕ и  $x_{26}$ =ОТСУТСТВУЮТ и  $x_{27}$ =СИЛЬНАЯ и  $x_{28}$ =СИЛЬНАЯ и  $x_{29}$ =СИЛЬНАЯ, тогда  $y_2$ =ОЧЕНЬ УСТОЙЧИВЫЙ»;
- $d_{23}$ : «Если  $x_{21}$ =НЕОЩУТИМЫЕ и  $x_{22}$ =ШИРОКИЕ и  $x_{26}$ =ОТСУТСТВУЮТ и  $x_{27}$ =СИЛЬНАЯ и  $x_{28}$ =СИЛЬНАЯ и  $x_{29}$ =СИЛЬНАЯ, тогда  $y_2$ =БОЛЕЕ ЧЕМ УСТОЙЧИВЫЙ»;
- $d_{24}$ : «Если  $x_{21}$ =НЕОЩУТИМЫЕ и  $x_{22}$ =ШИРОКИЕ и  $x_{23}$ =НЕЗНАЧИТЕЛЬНОЕ и  $x_{24}$ =НЕСУЩЕСТВЕННАЯ,  $y_2$ =УСТОЙЧИВЫЙ»;
- $d_{25}$ : «Если  $x_{21}$ =СУЩЕСТВЕННЫЕ и  $x_{22}$ =СКУДНЫЕ и  $x_{23}$ =СУЩЕСТВЕННОЕ и  $x_{24}$ =СУЩЕСТВЕННАЯ,  $y_2$ =НЕУСТОЙЧИВЫЙ»;
- $d_{26}$ : «Если  $x_{21}$ =СУЩЕСТВЕННЫЕ и  $x_{22}$ =СКУДНЫЕ и  $x_{26}$ =ИМЕЮТ МЕСТО и  $x_{27}$ =СЛАБАЯ и  $x_{28}$ =СЛАБАЯ и  $x_{29}$ =СЛАБАЯ,  $y_2$ =БОЛЕЕ ЧЕМ НЕУСТОЙЧИВЫЙ»;
- $d_{27}$ : «Если  $x_{21}$ =СУЩЕСТВЕННЫЕ и  $x_{22}$ =СКУДНЫЕ и  $x_{23}$ =СУЩЕСТВЕННОЕ и  $x_{26}$ =ИМЕЮТ МЕСТО и  $x_{27}$ =СЛАБАЯ и  $x_{28}$ =СЛАБАЯ и  $x_{29}$ =СЛАБАЯ,  $y_2$ =ОЧЕНЬ НЕУСТОЙЧИВЫЙ»;
- $d_{28}$ : «Если  $x_{21}$ =СУЩЕСТВЕННЫЕ и  $x_{22}$ =СКУДНЫЕ и  $x_{23}$ =СУЩЕСТВЕННОЕ и  $x_{24}$ =СУЩЕСТВЕННАЯ и  $x_{25}$ =СУЩЕСТВЕННЫЕ и  $x_{26}$ =ИМЕЮТ МЕСТО и  $x_{27}$ =СЛАБАЯ и  $x_{28}$ =СЛАБАЯ и  $x_{29}$ =СЛАБАЯ,  $y_2$ =СЛИШКОМ НЕУСТОЙЧИВЫЙ».

Согласно (2) и (3), для критериев из левых частей правил  $d_{21} - d_{28}$  имеем:

- нехватка и деградация ресурсов:  $A_{\text{НЕОЩУТИМЫЕ}} = A_{21} = \frac{0,0002}{a_1} + \frac{0,0006}{a_2} + \frac{0,015}{a_3} + \frac{0,2347}{a_4}$ ;

- экосистемные услуги и биоразнообразие:  $A_{\text{ШИРОКИЕ}} = A_{22} = \frac{0,9997}{a_1} + \frac{0,2919}{a_2} + \frac{0,0844}{a_3} + \frac{0,0231}{a_4}$ ;
- изменение климата:  $A_{\text{НЕЗНАЧИТЕЛЬНОЕ}} = A_{23} = \frac{0,6471}{a_1} + \frac{0,3179}{a_2} + \frac{0,4179}{a_3} + \frac{0,4961}{a_4}$ ;
- миграция:  $A_{\text{НЕСУЩЕСТВЕННАЯ}} = A_{24} = \frac{0,4206}{a_1} + \frac{0,0383}{a_2} + \frac{0,0933}{a_3} + \frac{0,7399}{a_4}$ ;
- новые угрозы:  $A_{\text{НЕОЩУТИМЫЕ}} = A_{25} = \frac{0,1561}{a_1} + \frac{0,6208}{a_2} + \frac{0,6257}{a_3} + \frac{0,0211}{a_4}$ ;
- «узкие места» в части управления и разработки политики:  $A_{\text{ОТСУТСТВУЮТ}} = A_{26} = \frac{0,0003}{a_1} + \frac{0,0576}{a_2} + \frac{0,0012}{a_3} + \frac{0,0857}{a_4}$ ;
- устойчивость экологического развития:  $A_{\text{СИЛЬНАЯ}} = A_{27} = \frac{0,0103}{a_1} + \frac{0,1882}{a_2} + \frac{0,2519}{a_3} + \frac{0,8829}{a_4}$ ;
- устойчивость экономического развития:  $A_{\text{СИЛЬНАЯ}} = A_{28} = \frac{0,0003}{a_1} + \frac{0,1338}{a_2} + \frac{0,9933}{a_3} + \frac{0,9809}{a_4}$ ;
- устойчивость социального развития:  $A_{\text{СИЛЬНАЯ}} = A_{29} = \frac{0,03847}{a_1} + \frac{0,3054}{a_2} + \frac{0,0019}{a_3} + \frac{0,0058}{a_4}$ .

Как и в предыдущем случае, термы из правых частей – значения выходной ЛП  $y_2$ , отражающие уровни устойчивости процесса предоставления товаров и услуг со стороны сельского, лесного и рыбного хозяйства, опишем нечёткими множествами с соответствующими функциями принадлежности. А именно,  $\forall j \in J = \{0; 0,1; 0,2; \dots; 1\}$  имеем:

$$TS=\text{ЧЕРЕСЧУР УСТОЙЧИВЫЙ: } \mu_{AS}(j) = \begin{cases} 1, & j=1, \\ 0, & j < 1; \end{cases} \quad VS=\text{ОЧЕНЬ УСТОЙЧИВЫЙ: } \mu_{VS}(j) = j^2;$$

$$MS=\text{БОЛЕЕ ЧЕМ УСТОЙЧИВЫЙ: } \mu_{MS}(j) = \sqrt{j}; \quad S=\text{УСТОЙЧИВЫЙ: } \mu_S(j) = j; \quad US=\text{НЕУСТОЙЧИВЫЙ: } \mu_{US}(j) = 1 - j;$$

$$MUS=\text{БОЛЕЕ ЧЕМ НЕУСТОЙЧИВЫЙ: } \mu_{MUS}(j) = \sqrt{1 - j}; \quad VUS=\text{ОЧЕНЬ НЕУСТОЙЧИВЫЙ: } \mu_{VUS}(j) = (1 - j)^2;$$

$$TUS=\text{СЛИШКОМ НЕУСТОЙЧИВЫЙ: } \mu_{TUS}(j) = \begin{cases} 0, & j=1, \\ 1, & j < 1. \end{cases}$$

Тогда с учётом введённых формализмов правила  $d_{11} - d_{18}$  сформулируем как:

- $d_{21}$ : «Если  $x_{21}=A_{21}$  и  $x_{22}=A_{22}$  и  $x_{23}=A_{23}$  и  $x_{24}=A_{24}$  и  $x_{25}=A_{25}$  и  $x_{26}=A_{26}$  и  $x_{27}=A_{27}$  и  $x_{28}=A_{28}$  и  $x_{29}=A_{29}$ , то  $y_2=TS$ »;
- $d_{22}$ : «Если  $x_{21}=A_{21}$  и  $x_{22}=A_{22}$  и  $x_{23}=A_{23}$  и  $x_{26}=A_{26}$  и  $x_{27}=A_{27}$  и  $x_{28}=A_{28}$  и  $x_{29}=A_{29}$ , то  $y_2=VS$ »;
- $d_{23}$ : «Если  $x_{21}=A_{21}$  и  $x_{22}=A_{22}$  и  $x_{26}=A_{26}$  и  $x_{27}=A_{27}$  и  $x_{28}=A_{28}$  и  $x_{29}=A_{29}$ , то  $y_2=MS$ »;
- $d_{24}$ : «Если  $x_{21}=A_{21}$  и  $x_{22}=A_{22}$  и  $x_{23}=A_{23}$  и  $x_{24}=A_{24}$ , то  $y_2=S$ »;
- $d_{25}$ : «Если  $x_{21}=\neg A_{21}$  и  $x_{22}=\neg A_{22}$  и  $x_{23}=\neg A_{23}$  и  $x_{24}=\neg A_{24}$ , то  $y_2=US$ »;
- $d_{26}$ : «Если  $x_{21}=\neg A_{21}$  и  $x_{22}=\neg A_{22}$  и  $x_{26}=\neg A_{26}$  и  $x_{27}=\neg A_{27}$  и  $x_{28}=\neg A_{28}$  и  $x_{29}=\neg A_{29}$ , то  $y_2=MUS$ »;
- $d_{27}$ : «Если  $x_{21}=\neg A_{21}$  и  $x_{22}=\neg A_{22}$  и  $x_{23}=\neg A_{23}$  и  $x_{26}=\neg A_{26}$  и  $x_{27}=\neg A_{27}$  и  $x_{28}=\neg A_{28}$  и  $x_{29}=\neg A_{29}$ , то  $y_2=VUS$ »;
- $d_{28}$ : «Если  $x_{21}=\neg A_{21}$  и  $x_{22}=\neg A_{22}$  и  $x_{23}=\neg A_{23}$  и  $x_{24}=\neg A_{24}$  и  $x_{25}=\neg A_{25}$  и  $x_{26}=\neg A_{26}$  и  $x_{27}=\neg A_{27}$  и  $x_{28}=\neg A_{28}$  и  $x_{29}=\neg A_{29}$ , то  $y_2=TUS$ ».

Преобразование этих нечётких правил в описанной выше манере дало общее функциональное решение, отражающее причинно-следственную связь между факторами, определяющими ЦЦ2 ФАО, с одной стороны, и уровнями устойчивости процесса предоставления товаров и услуг со стороны сельского, лесного и рыбного хозяйства в рассматриваемых 4-х регионах, с другой, в виде следующей матрицы:

$$R_2 = \begin{bmatrix} & 0 & 0,1 & 0,2 & 0,3 & 0,4 & 0,5 & 0,6 & 0,7 & 0,8 & 0,9 & 1 \\ a_1 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9997 \\ a_2 & 0,9964 & 0,9964 & 0,9579 & 0,8079 & 0,6779 & 0,5679 & 0,4779 & 0,4079 & 0,3579 & 0,3279 & 0,3054 \\ a_3 & 0,9849 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9179 & 0,8179 & 0,7179 & 0,6179 & 0,5179 & 0,4179 \\ a_4 & 0,9769 & 0,9942 & 0,9942 & 0,9942 & 0,9942 & 0,9942 & 0,9942 & 0,9942 & 0,9399 & 0,8399 & 0,7399 \end{bmatrix}.$$

Согласно (7) – (9), нечёткий вывод относительно уровня устойчивости процесса предоставления товаров и услуг со стороны сельского, лесного и рыбного хозяйства в регионе  $a_k$  отражается в виде нечёткого подмножества  $E_k$  ( $k = 1 \div 4$ ) дискретного универсума  $U = \{0; 0,1; 0,2; \dots; 1\}$  с соответствующими значениями функции принадлежности из  $k$ -ой строки матрицы  $R_2$ . В частности, нечёткий вывод относительно уровня устойчивости процесса предоставления товаров и услуг со стороны сельского, лесного и рыбного хозяйства в регионе  $a_1$  интерпретируется в виде следующего нечёткого множества:

$$E_1 = \frac{0,9998}{0} + \frac{0,9998}{0,1} + \frac{0,9998}{0,2} + \frac{0,9998}{0,3} + \frac{0,9998}{0,4} + \frac{0,9998}{0,5} + \frac{0,9998}{0,6} + \frac{0,9998}{0,7} + \frac{0,9998}{0,8} + \frac{0,9998}{0,9} + \frac{0,9997}{1,0}.$$

Устанавливая уровневые множества  $E_{1\alpha}$  ( $\alpha \in [0;1]$ ) и вычисляя соответствующие им мощности  $M(E_{1\alpha})$  по формуле (10), аналогично имеем:

- для  $0 < \alpha < 0,9997$ :  $\Delta\alpha = 0,9997$ ,  $E_{1\alpha} = \{0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1\}$ ,  $M(E_{1\alpha}) = 0,5$ ;
- для  $0,9997 < \alpha < 0,9998$ :  $\Delta\alpha = 0,0001$ ,  $E_{1\alpha} = \{0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9\}$ ,  $M(E_{1\alpha}) = 0,45$ .

Далее на основании формулы (11) численной оценкой нечёткого вывода  $E_1$  будет

$$F(E_1) = \frac{1}{0,9998} \int_0^{0,9998} M(E_{1\alpha}) d\alpha = (0,5 \cdot 0,9997 + 0,45 \cdot 0,0001) = 0,5.$$

Аналогичными действиями устанавливаем точечные оценки нечётких выводов относительно устойчивости процесса предоставления товаров и услуг со стороны сельского, лесного и рыбного хозяйства и для остальных альтернатив:  $a_2 - F(E_2) = 0,2946$ ;  $a_3 - F(E_3) = 0,4013$ ;  $a_4 - F(E_4) = 0,4776$ .

Численные оценки для СЦЗ – «Масштабы нищеты в сельских районах» и СЦ5 – «Устойчивость средств к существованию перед угрозами и кризисами» достигаются посредством аналогичных вычислений на основе данных из табл. 1.

Так, реализация следующих нечётких лингвистических правил для оценки основания СЦЗ – «Масштабы нищеты в сельских районах»:

- $d_{31}$ : «Если  $x_{31}$ =НАЦЕЛЕННАЯ и  $x_{32}$ =ДОСТАТОЧНЫЙ и  $x_{33}$ =ДОСТАТОЧНЫЙ и  $x_{34}$ =СИЛЬНЫЕ и  $x_{35}$ =НЕОГРАНИЧЕННЫЕ и  $x_{36}$ =ДОСТОЙНЫЕ и  $x_{37}$ =ДОСТАТОЧНАЯ, то  $y_3$ =МИЗЕРНЫЕ»;
- $d_{32}$ : «Если  $x_{31}$ =НАЦЕЛЕННАЯ и  $x_{32}$ =ДОСТАТОЧНЫЙ и  $x_{33}$ =ДОСТАТОЧНЫЙ и  $x_{36}$ =ДОСТОЙНЫЕ и  $x_{37}$ =ДОСТАТОЧНАЯ, то  $y_3$ =ОЧЕНЬ МАЛЫ»;
- $d_{33}$ : «Если  $x_{31}$ =НАЦЕЛЕННАЯ и  $x_{32}$ =ДОСТАТОЧНЫЙ и  $x_{36}$ =ДОСТОЙНЫЕ и  $x_{37}$ =ДОСТАТОЧНАЯ, то  $y_3$ =БОЛЕЕ ЧЕМ МАЛЫ»;
- $d_{34}$ : «Если  $x_{31}$ =НАЦЕЛЕННАЯ и  $x_{32}$ =ДОСТАТОЧНЫЙ и  $x_{33}$ =ДОСТАТОЧНЫЙ и  $x_{34}$ =СИЛЬНЫЕ, то  $y_3$ =МАЛЫЕ»;
- $d_{35}$ : «Если  $x_{31}$ =НЕ НАЦЕЛЕННАЯ и  $x_{32}$ =ОГРАНИЧЕННЫЙ и  $x_{33}$ =ОГРАНИЧЕННЫЙ и  $x_{34}$ =ОТСУТСТВУЮТ, то  $y_3$ =БОЛЬШИЕ»;
- $d_{36}$ : «Если  $x_{31}$ =НЕ НАЦЕЛЕННАЯ и  $x_{32}$ =ОГРАНИЧЕННЫЙ и  $x_{36}$ =НЕДОСТОЙНЫЕ и  $x_{37}$ =НЕДОСТАТОЧНАЯ, то  $y_3$ =БОЛЕЕ ЧЕМ БОЛЬШИЕ»;
- $d_{37}$ : «Если  $x_{31}$ =НЕ НАЦЕЛЕННАЯ и  $x_{32}$ =ОГРАНИЧЕННЫЙ и  $x_{33}$ =ОГРАНИЧЕННЫЙ и  $x_{36}$ =НЕДОСТОЙНЫЕ и  $x_{37}$ =НЕДОСТАТОЧНАЯ, то  $y_3$ =ОЧЕНЬ БОЛЬШИЕ»;

$d_{38}$ : «Если  $x_{31}$ =НЕ НАЦЕЛЕННАЯ и  $x_{32}$ =ОГРАНИЧЕННЫЙ и  $x_{33}$ =ОГРАНИЧЕННЫЙ и  $x_{34}$ =ОТСУТСТВУЮТ и  $x_{35}$ =ОГРАНИЧЕННЫЕ и  $x_{36}$ =НЕДОСТОЙНЫЕ и  $x_{37}$ =НЕДОСТАТОЧНАЯ, то  $y_3$ =ОГРОМНЫЕ»,

дала функциональное решение в виде следующей матрицы:

$$R_3 = \begin{bmatrix} & 0 & 0,1 & 0,2 & 0,3 & 0,4 & 0,5 & 0,6 & 0,7 & 0,8 & 0,9 & 1 \\ a_1 & 0,9474 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9679 & 0,9179 & 0,8879 & 0,8779 \\ a_2 & 0,9987 & 0,9987 & 0,9987 & 0,9987 & 0,9987 & 0,9987 & 0,9987 & 0,9987 & 0,9987 & 0,9889 & 0,9789 \\ a_3 & 0,9993 & 0,9998 & 0,9998 & 0,9340 & 0,8340 & 0,7340 & 0,6340 & 0,5340 & 0,4340 & 0,3340 & 0,2340 \\ a_4 & 0,9996 & 0,9996 & 0,9996 & 0,9996 & 0,9660 & 0,8560 & 0,7660 & 0,6960 & 0,6460 & 0,6160 & 0,6060 \end{bmatrix}.$$

Согласно применённому выше правилу дефаззификации нечётких выводов для рассматриваемых регионов, оценки масштабов нищеты в сельских районах распределены следующим образом:  $a_1 - F(E_1)=0,4582$ ;  $a_2 - F(E_2)=0,4985$ ;  $a_3 - F(E_3)=0,3337$ ;  $a_4 - F(E_4)=0,4077$ .

Аналогично, реализация нечётких лингвистических правил для оценки основания СЦ5 – «Устойчивость средств к существованию перед угрозами и кризисами»:

$d_{51}$ : «Если  $x_{51}$ =НИЗКАЯ и  $x_{52}$ =НИЗКАЯ и  $x_{53}$ =НИЗКАЯ и  $x_{54}$ =НИЗКАЯ и  $x_{55}$ =НИЗКАЯ и  $x_{56}$ =СЛАБАЯ и  $x_{57}$ =УДОВЛЕТВОРЁННЫЕ и  $x_{58}$ =СИЛЬНАЯ и  $x_{59}$ =ВЫСОКИЙ, тогда  $y_5$ =В ВЫСШЕЙ СТЕПЕНИ НАДЁЖНАЯ»;

$d_{52}$ : «Если  $x_{51}$ =НИЗКАЯ и  $x_{52}$ =НИЗКАЯ и  $x_{53}$ =НИЗКАЯ и  $x_{56}$ =СЛАБАЯ и  $x_{57}$ =УДОВЛЕТВОРЁННЫЕ и  $x_{58}$ =СИЛЬНАЯ и  $x_{59}$ =ВЫСОКИЙ, тогда  $y_5$ =ОЧЕНЬ НАДЁЖНАЯ»;

$d_{53}$ : «Если  $x_{51}$ =НИЗКАЯ и  $x_{52}$ =НИЗКАЯ и  $x_{56}$ =СЛАБАЯ и  $x_{57}$ =УДОВЛЕТВОРЁННЫЕ и  $x_{58}$ =СИЛЬНАЯ и  $x_{59}$ =ВЫСОКИЙ, тогда  $y_5$ =БОЛЕЕ ЧЕМ НАДЁЖНАЯ»;

$d_{54}$ : «Если  $x_{51}$ =НИЗКАЯ и  $x_{52}$ =НИЗКАЯ и  $x_{53}$ =НИЗКАЯ и  $x_{54}$ =НИЗКАЯ, тогда  $y_5$ =НАДЁЖНАЯ»;

$d_{55}$ : «Если  $x_{51}$ =ВЫСОКАЯ и  $x_{52}$ =ВЫСОКАЯ и  $x_{53}$ =ВЫСОКАЯ и  $x_{54}$ =ВЫСОКАЯ, тогда  $y_5$ =НЕНАДЁЖНАЯ»;

$d_{56}$ : «Если  $x_{51}$ =ВЫСОКАЯ и  $x_{52}$ =ВЫСОКАЯ и  $x_{56}$ =СИЛЬНАЯ и  $x_{57}$ =НЕУДОВЛЕТВОРЁННЫЕ и  $x_{58}$ =СЛАБАЯ и  $x_{59}$ =НИЗКИЙ, тогда  $y_5$ =БОЛЕЕ ЧЕМ НЕНАДЁЖНАЯ»;

$d_{57}$ : «Если  $x_{51}$ =ВЫСОКАЯ и  $x_{52}$ =ВЫСОКАЯ и  $x_{53}$ =ВЫСОКАЯ и  $x_{56}$ =СИЛЬНАЯ и  $x_{57}$ =НЕУДОВЛЕТВОРЁННЫЕ и  $x_{58}$ =СЛАБАЯ и  $x_{59}$ =НИЗКИЙ, тогда  $y_5$ =ОЧЕНЬ НЕНАДЁЖНАЯ»;

$d_{58}$ : «Если  $x_{51}$ =ВЫСОКАЯ и  $x_{52}$ =ВЫСОКАЯ и  $x_{53}$ =ВЫСОКАЯ и  $x_{54}$ =ВЫСОКАЯ и  $x_{55}$ =ВЫСОКАЯ и  $x_{56}$ =СИЛЬНАЯ и  $x_{57}$ =НЕУДОВЛЕТВОРЁННЫЕ и  $x_{58}$ =СЛАБАЯ и  $x_{59}$ =НИЗКИЙ, тогда  $y_5$ =СЛИШКОМ НЕНАДЁЖНАЯ».

дала функциональное решение в виде следующей матрицы:

$$R_5 = \begin{bmatrix} & 0 & 0,1 & 0,2 & 0,3 & 0,4 & 0,5 & 0,6 & 0,7 & 0,8 & 0,9 & 1 \\ a_1 & 0,9992 & 0,9994 & 0,9994 & 0,9994 & 0,9994 & 0,9994 & 0,9994 & 0,9994 & 0,9994 & 0,9994 & 0,9789 \\ a_2 & 0,9993 & 0,9993 & 0,9993 & 0,9281 & 0,8281 & 0,7281 & 0,6281 & 0,5281 & 0,4281 & 0,3281 & 0,2281 \\ a_3 & 0,9985 & 0,9985 & 0,9985 & 0,9132 & 0,8132 & 0,7132 & 0,6132 & 0,5132 & 0,4132 & 0,3132 & 0,2132 \\ a_4 & 0,8704 & 0,9475 & 0,9775 & 0,9960 & 0,9960 & 0,9960 & 0,9960 & 0,9960 & 0,9499 & 0,9190 & 0,9092 \end{bmatrix}.$$

Применяя правило дефаззификации к нечётким выводам этого решения, получим следующие оценки устойчивости средств к существованию перед угрозами и кризисами в рассматриваемых альтернативных регионах:  $a_1 - F(E_1)=0,4990$ ;  $a_2 - F(E_2)=0,3314$ ;  $a_3 - F(E_3)=0,3256$ ;  $a_4 - F(E_4)=0,4992$ .

Для оценки основания СЦ4 FAO – «Предпосылки к созданию на местном, государственном, региональном и международном уровнях более широких по охвату и более эффективных сельскохозяйственных и продовольственных систем» в [2] применяются высказывания несколько иного строения, а именно:

$d_{41}$ : «Если условия достаточно благоприятные, потенциал (с учётом привлечения частного сектора) высокий, а глобальные рыночные системы являются предпочтительными, тогда предпосылки к созданию сельскохозяйственных и продовольственных систем являются весьма существенными»;

$d_{42}$ : «Если условия недостаточно благоприятные, потенциал (с учётом привлечения частного сектора) высокий, а глобальные рыночные системы являются предпочтительными, тогда предпосылки к созданию сельскохозяйственных и продовольственных систем являются незначительными»;

$d_{43}$ : «Если условия достаточно благоприятные, потенциал (с учётом привлечения частного сектора) низкий, а глобальные рыночные системы являются предпочтительными, тогда предпосылки к созданию сельскохозяйственных и продовольственных систем являются незначительными»;

$d_{44}$ : «Если условия недостаточно благоприятные, потенциал (с учётом привлечения частного сектора) низкий, а глобальные рыночные системы являются предпочтительными, тогда предпосылки к созданию сельскохозяйственных и продовольственных систем являются незначительными»;

$d_{45}$ : «Если условия неблагоприятные, потенциал (с учётом привлечения частного сектора) низкий, а глобальные рыночные системы являются предпочтительными, тогда предпосылки к созданию сельскохозяйственных и продовольственных систем являются незначительными»;

$d_{46}$ : «Если глобальные рыночные системы являются неpreferred, тогда предпосылки к созданию сельскохозяйственных и продовольственных систем являются незначительными».

Опираясь на эти рассуждения, можно достаточно легко сформировать полный набор ЛП, которые для удобства сведены в табл. 2.

Таблица 2. Переменные системы нечёткого вывода для оценки основания СЦ4 FAO

Входные ЛП – $x_4$	$x_{41}$	Имя переменной	Благоприятность условий
		Терм-множество	{НЕБЛАГОПРИЯТНЫЕ, НЕДОСТАТОЧНО БЛАГОПРИЯТНЫЕ, ДОСТАТОЧНО БЛАГОПРИЯТНЫЕ}
		Пределы значений	[0; 10]
	$x_{42}$	Имя переменной	Потенциал (с учётом привлечённого частного сектора)
		Терм-множество	{НИЗКИЙ, ВЫСОКИЙ}
		Пределы значений	[0; 10]
	$x_{43}$	Имя переменной	Глобальные рыночные системы
		Терм-множество	{НЕПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫЕ, ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫЕ}
		Пределы значений	[0; 10]
Выходная ЛП – $y_4$	Имя переменной	Предпосылки к созданию на местном, государственном, региональном и международном уровнях более широких по охвату и более эффективных сельскохозяйственных и продовольственных систем	
	Терм-множество	{НЕЗНАЧИТЕЛЬНЫЕ, СУЩЕСТВЕННЫЕ}	
	Пределы значений	[0; 1]	

Тогда система правил в символьной форме будет иметь вид:

$d_{41}$ : «Если  $x_{41}$ =ДОСТАТОЧНО БЛАГОПРИЯТНЫЕ и  $x_{42}$ =ВЫСОКИЙ и  $x_{43}$ =ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫЕ, то  $y_4$ =СУЩЕСТВЕННЫЕ»;

$d_{42}$ : «Если  $x_{41}$ =НЕДОСТАТОЧНО БЛАГОПРИЯТНЫЕ и  $x_{42}$ =ВЫСОКИЙ и  $x_{43}$ =ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫЕ, то  $y_4$ =НЕЗНАЧИТЕЛЬНЫЕ»;

$d_{43}$ : «Если  $x_{41}$ =ДОСТАТОЧНО БЛАГОПРИЯТНЫЕ и  $x_{42}$ =НИЗКИЙ и  $x_{43}$ =ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫЕ, то  $y_4$ =НЕЗНАЧИТЕЛЬНЫЕ»;

- $d_{44}$ : «Если  $x_{41}$ =НЕДОСТАТОЧНО БЛАГОПРИЯТНЫЕ и  $x_{42}$ =НИЗКИЙ и  $x_{43}$ =ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫЕ, то  $y_4$ =НЕЗНАЧИТЕЛЬНЫЕ»;
- $d_{45}$ : «Если  $x_{41}$ =НЕБЛАГОПРИЯТНЫЕ и  $x_{42}$ =НИЗКИЙ и  $x_{43}$ =ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫЕ, то  $y_4$ =НЕЗНАЧИТЕЛЬНЫЕ»;
- $d_{46}$ : «Если  $x_{43}$ =НЕПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫЕ, то  $y_4$ =НЕЗНАЧИТЕЛЬНЫЕ».

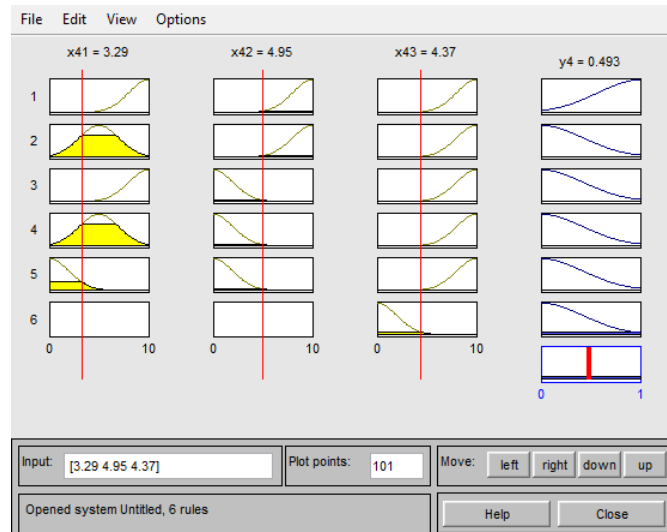


Рис. 1. Оценка оснований СЦ4 по региону  $a_4$

Приведённые правила достаточно легко реализуются с помощью редактора Fuzzy Inference System в нотации пакета MATLAB. В частности, с учётом экспертных оценок факторам  $x_{41}$ ,  $x_{42}$  и  $x_{43}$  (табл. 1), агрегированной численной оценкой основанию СЦ4 по региону  $a_4$  является число 0,493 (рис. 1). Остальные оценки по регионам распределены следующим образом:  $a_1 - F(E_1)=0,355$ ;  $a_2 - F(E_2)=0,471$ ;  $a_3 - F(E_3)=0,495$ . Таким образом, в масштабе единичного отрезка получены оценки по основаниям всех СЦ FAO для рассматриваемых регионов, которые сведены в табл. 3.

Таблица 3. Оценки по всем основаниям СЦ FAO для всех регионов

Основания для СЦ FAO	Альтернативные регионы			
	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$
СЦ1: Уровень голода, проблемы ПБ и нищеты	0,4826	0,3162	0,4956	0,2491
СЦ2: Предоставление товаров и услуг со стороны сельского, лесного и рыбного хозяйства устойчивым образом	0,5000	0,2946	0,4013	0,4776
СЦ3: Масштабы нищеты в сельских районах	0,4582	0,4985	0,3337	0,4077
СЦ4: Предпосылки к созданию на местном, государственном, региональном и международном уровнях более широких по охвату и более эффективных сельскохозяйственных и продовольственных систем	0,3550	0,4710	0,4950	0,4930
СЦ5: Устойчивость средств к существованию перед угрозами и кризисами	0,4990	0,3314	0,3256	0,4992

## 5. Оценка уровней ПБ в регионах с учётом их соответствия основаниям СЦ FAO

Для получения консолидированных оценок уровней ПБ в рассматриваемых альтернативных регионах  $a_1 \div a_4$  воспользуемся следующим набором непротиворечивых суждений, определяющих причинно-следственные связи между основаниями СЦ FAO, с одной стороны, и, собственно, уровнем ПБ, с другой.

$r_1$ : «Если проблема голода и нищеты чувствительна и процесс предоставления товаров и услуг со стороны сельского, лесного и рыбного хозяйства является неустойчивым, тогда уровень ПБ является низким»;

$r_2$ : «Если в дополнение к сказанному предпосылки к созданию сельскохозяйственных и продовольственных систем являются незначительными и устойчивость средств к существованию перед угрозами и кризисами ненадёжная, тогда уровень ПБ является более чем низким»;

$r_3$ : «Если дополнительно к условиям, оговоренным в  $r_2$ , известно, что масштабы нищеты в сельских районах большие, тогда уровень ПБ чересчур низкий»;

$r_4$ : «Если проблема голода и нищеты чувствительна, масштабы нищеты в сельских районах большие, а также предпосылки к созданию сельскохозяйственных и продовольственных систем являются незначительными, а устойчивость средств к существованию перед угрозами и кризисами ненадёжная, тогда уровень ПБ очень низкий»;

$r_5$ : «Если проблема голода и нищеты чувствительна, масштабы нищеты в сельских районах большие, предпосылки к созданию сельскохозяйственных и продовольственных систем являются незначительными, но при этом устойчивость средств к существованию перед угрозами и кризисами надёжная, тогда уровень ПБ все равно низкий»;

$r_6$ : «Если проблема голода и нищеты нечувствительна, процесс предоставления товаров и услуг со стороны сельского, лесного и рыбного хозяйства является устойчивым, а масштабы нищеты в сельских районах небольшие, тогда уровень ПБ высокий».

Опираясь на эти рассуждения, как и в предыдущем случае, можно легко сформировать полный набор входных и выходной ЛП, сведённых в табл. 4, и следующих правил для построения системы нечёткого вывода.

Таблица 4. Переменные системы нечёткого вывода для оценки ПБ в регионе в целом

Входные ЛП – $x_4$	$x_1$	Имя переменной	Проблема голода и нищеты
		Терм-множество	{НЕЧУВСТВИТЕЛЬНАЯ, ЧУВСТВИТЕЛЬНАЯ}
		Пределы значений	[0; 1]
	$x_2$	Имя переменной	Процесс предоставления товаров и услуг со стороны сельского, лесного и рыбного хозяйства
		Терм-множество	{НЕУСТОЙЧИВЫЙ, УСТОЙЧИВЫЙ}
		Пределы значений	[0; 1]
	$x_3$	Имя переменной	Масштабы нищеты в сельских районах
		Терм-множество	{НЕБОЛЬШИЕ, БОЛЬШИЕ}
		Пределы значений	[0; 1]
	$x_4$	Имя переменной	Предпосылки к созданию на местном, государственном, региональном и международном уровнях более широких по охвату и более эффективных сельскохозяйственных и продовольственных систем
		Терм-множество	{НЕЗНАЧИТЕЛЬНЫЕ}
		Пределы значений	[0; 1]
	$x_5$	Имя переменной	Устойчивость средств к существованию перед угрозами и кризисами
		Терм-множество	{НЕНАДЁЖНАЯ, НАДЁЖНАЯ}
		Пределы значений	[0; 1]
Входная ЛП – $y$	Имя переменной	Уровень ПБ в регионе	
	Терм-множество	{ЧЕРЕСЧУР НИЗКИЙ, ОЧЕНЬ НИЗКИЙ, БОЛЕЕ ЧЕМ НИЗКИЙ, НИЗКИЙ, ВЫСОКИЙ}	
	Пределы значений	[0; 1]	



- $r_1$ : «Если  $x_1$ =ЧУВСТВИТЕЛЬНА и  $x_2$ =НЕУСТОЙЧИВЫЙ, то уровень  $y$ =НИЗКИЙ»;
- $r_2$ : «Если  $x_1$ =ЧУВСТВИТЕЛЬНА и  $x_2$ =НЕУСТОЙЧИВЫЙ и  $x_4$ =НЕЗНАЧИТЕЛЬНЫЕ и  $x_5$ =НЕНАДЁЖНАЯ, то  $y$ =БОЛЕЕ ЧЕМ НИЗКИЙ»;
- $r_3$ : «Если  $x_1$ =ЧУВСТВИТЕЛЬНА и  $x_2$ =НЕУСТОЙЧИВЫЙ и  $x_3$ =БОЛЬШИЕ и  $x_4$ =НЕЗНАЧИТЕЛЬНЫЕ и  $x_5$ =НЕНАДЁЖНАЯ, то  $y$ =ЧЕРЕСЧУР НИЗКИЙ»;
- $r_4$ : «Если  $x_1$ =ЧУВСТВИТЕЛЬНА и  $x_3$ =БОЛЬШИЕ и  $x_4$ =НЕЗНАЧИТЕЛЬНЫЕ и  $x_5$ =НЕНАДЁЖНАЯ, то  $y$ =ОЧЕНЬ НИЗКИЙ»;
- $r_5$ : «Если  $x_1$ =ЧУВСТВИТЕЛЬНА и  $x_3$ =БОЛЬШИЕ и  $x_4$ =НЕЗНАЧИТЕЛЬНЫЕ и  $x_5$ =НАДЁЖНАЯ, то  $y$ =НИЗКИЙ»;
- $r_6$ : «Если  $x_1$ =НЕЧУВСТВИТЕЛЬНА и  $x_2$ =УСТОЙЧИВЫЙ и  $x_3$ =НЕБОЛЬШИЕ, то  $y$ =ВЫСОКИЙ».

Для фаззификации термов из левых частей правил  $r_1 \div r_6$  также применим подход (2) – (3) на дискретном универсуме  $\{a_1, a_2, a_3, a_4\}$ , где значения гауссовских функций принадлежности (3) рассчитываются от соответствующих численных оценок оснований СЦ ФАО, представленных в табл. 2. Тогда для термов из левых частей правил имеем:

- проблема голода и нищеты:  $A_{\text{ЧУВСТВИТЕЛЬНАЯ}} = A_1 = \frac{0,4275}{a_1} + \frac{0,2266}{a_2} + \frac{0,4459}{a_3} + \frac{0,1670}{a_4}$ ;
- процесс предоставления товаров и услуг со стороны сельского, лесного и рыбного хозяйства:  $A_{\text{НЕУСТОЙЧИВЫЙ}} = A_2 = \frac{0,4522}{a_1} + \frac{0,2060}{a_2} + \frac{0,3205}{a_3} + \frac{0,4205}{a_4}$ ;
- масштабы нищеты в сельских районах:  $A_{\text{БОЛЬШИЕ}} = A_3 = \frac{0,3938}{a_1} + \frac{0,4500}{a_2} + \frac{0,2443}{a_3} + \frac{0,3283}{a_4}$ ;
- предпосылки к созданию сельскохозяйственных и продовольственных систем:  $A_{\text{НЕЗНАЧИТЕЛЬНЫЕ}} = A_4 = \frac{0,2669}{a_1} + \frac{0,4113}{a_2} + \frac{0,4450}{a_3} + \frac{0,4422}{a_4}$ ;
- устойчивость средств к существованию перед угрозами и кризисами:  $A_{\text{НЕНАДЁЖНАЯ}} = A_5 = \frac{0,4508}{a_1} + \frac{0,2419}{a_2} + \frac{0,2360}{a_3} + \frac{0,4510}{a_4}$ .

Для термов выходной лингвистической переменной  $y$ , отражающей общий уровень ПБ в регионе, в привычной манере построим нечёткие подмножества дискретного универсума  $J = \{0; 0,1; 0,2; \dots; 1\}$  с соответствующими функциями принадлежности  $\forall j \in J$ :

$TL$ =ЧЕРЕСЧУР НИЗКИЙ:  $\mu_{TL}(j) = \begin{cases} 0, & j=1, \\ 1, & j < 1; \end{cases}$   $VL$ =ОЧЕНЬ НИЗКИЙ:  $\mu_{VL}(j) = (1-j)^2$ ;  $ML$ =БОЛЕЕ ЧЕМ НИЗ-

КИЙ:  $\mu_{ML}(j) = \sqrt{1-j}$ ;  $L$ =НИЗКИЙ:  $\mu_L(j) = 1-j$ ;  $H$ =ВЫСОКИЙ:  $\mu_H(j) = j$ .

С учётом введённых формализмов правила  $r_1 - r_6$  представляются как:

- $r_1$ : «Если  $x_1=A_1$  и  $x_2=A_2$ , то  $y=L$ »;
- $r_2$ : «Если  $x_1=A_1$  и  $x_2=A_2$  и  $x_4=A_4$  и  $x_5=A_5$ , то  $y=ML$ »;
- $r_3$ : «Если  $x_1=A_1$  и  $x_2=A_2$  и  $x_3=A_3$  и  $x_4=A_4$  и  $x_5=A_5$ , то  $y=TL$ »;
- $r_4$ : «Если  $x_1=A_1$  и  $x_3=A_3$  и  $x_4=A_4$  и  $x_5=A_5$ , то  $y=VL$ »;
- $r_5$ : «Если  $x_1=A_1$  и  $x_3=A_3$  и  $x_4=A_4$  и  $x_5=\neg A_5$ , то  $y=L$ »;
- $r_6$ : «Если  $x_1=\neg A_1$  и  $x_2=\neg A_2$  и  $x_3=\neg A_3$ , то  $y=H$ ».

Далее, как обычно, для левых частей этих правил вычислим функции принадлежности:  $\mu_{\tilde{M}_i}(u)$  ( $i = 1 \div 6$ ). В частности, имеем:

$$r_1: \mu_{M_1}(u) = \min\{\mu_{A_1}(u), \mu_{A_2}(u)\}, M_1 = \frac{0,4275}{a_1} + \frac{0,2060}{a_2} + \frac{0,3205}{a_3} + \frac{0,1670}{a_4};$$

$$r_2: \mu_{M_2}(u) = \min\{\mu_{A_1}(u), \mu_{A_2}(u), \mu_{A_4}(u), \mu_{A_5}(u)\}, M_2 = \frac{0,2669}{a_1} + \frac{0,2060}{a_2} + \frac{0,2360}{a_3} + \frac{0,1670}{a_4};$$

$$r_3: \mu_{M_3}(u) = \min\{\mu_{A_1}(u), \mu_{A_2}(u), \mu_{A_3}(u), \mu_{A_4}(u), \mu_{A_5}(u)\}, M_3 = \frac{0,2669}{a_1} + \frac{0,206}{a_2} + \frac{0,236}{a_3} + \frac{0,167}{a_4};$$

$$r_4: \mu_{M_4}(u) = \min\{\mu_{A_1}(u), \mu_{A_3}(u), \mu_{A_4}(u), \mu_{A_5}(u)\}, M_4 = \frac{0,2669}{a_1} + \frac{0,2266}{a_2} + \frac{0,2360}{a_3} + \frac{0,1670}{a_4};$$

$$r_5: \mu_{M_5}(u) = \min\{\mu_{A_1}(u), \mu_{A_3}(u), \mu_{A_4}(u), 1 - \mu_{A_5}(u)\}, M_5 = \frac{0,2669}{a_1} + \frac{0,2266}{a_2} + \frac{0,2443}{a_3} + \frac{0,1670}{a_4};$$

$$r_6: \mu_{M_6}(u) = \min\{1 - \mu_{A_1}(u), 1 - \mu_{A_2}(u), 1 - \mu_{A_3}(u)\}, M_6 = \frac{0,5478}{a_1} + \frac{0,5500}{a_2} + \frac{0,5541}{a_3} + \frac{0,5795}{a_4}.$$

В итоге правила запишутся в ещё более компактной форме:

$r_1$ : «Если  $x=M_1$ , то  $y=L$ »;  $r_2$ : «Если  $x=M_2$ , то  $y=ML$ »;  $r_3$ : «Если  $x=M_3$ , то  $y=TL$ »;

$r_4$ : «Если  $x=M_4$ , то  $y=VL$ »;  $r_5$ : «Если  $x=M_5$ , то  $y=L$ »;  $r_6$ : «Если  $x=M_6$ , то  $y=H$ ».

В привычной манере, преобразовав эти правила с помощью импликации Лукасевича (6), получим соответствующие нечёткие отношения, пересечение которых в итоге даёт функциональное решение, отражающее причинно-следственную связь между основаниями СЦ ФАО и, собственно, уровнем ПБ в регионе в виде следующей матрицы:

$$R_1 = \begin{bmatrix} & 0 & 0,1 & 0,2 & 0,3 & 0,4 & 0,5 & 0,6 & 0,7 & 0,8 & 0,9 & 1 \\ a_1 & 0,4522 & 0,5522 & 0,6522 & 0,7522 & 0,8522 & 0,9522 & 0,8931 & 0,8231 & 0,7725 & 0,6725 & 0,5725 \\ a_2 & 0,4500 & 0,5500 & 0,6500 & 0,7500 & 0,8500 & 0,9500 & 0,9334 & 0,8634 & 0,8134 & 0,7834 & 0,7734 \\ a_3 & 0,4459 & 0,5459 & 0,6459 & 0,7459 & 0,8459 & 0,9459 & 0,9240 & 0,8540 & 0,8040 & 0,7740 & 0,6795 \\ a_4 & 0,4205 & 0,5205 & 0,6205 & 0,7205 & 0,8205 & 0,9205 & 0,9930 & 0,9230 & 0,8730 & 0,8430 & 0,8330 \end{bmatrix}.$$

Согласно (7) – (9), нечёткий вывод относительно уровня ПБ в регионе  $a_k$  отражается в виде нечёткого подмножества  $E_k$  дискретного универсума  $U = \{0; 0,1; 0,2; \dots; 1\}$  с соответствующими значениями функции принадлежности из  $k$ -ой строки матрицы  $R_1$ . Для численной оценки этих выводов применим к ним привычную процедуру дефаззификации.

Итак, нечёткий вывод относительно уровня ПБ в регионе  $a_1$  интерпретируется в виде следующего нечёткого множества:

$$E_1 = \frac{0,4522}{0} + \frac{0,5522}{0,1} + \frac{0,6522}{0,2} + \frac{0,7522}{0,3} + \frac{0,8522}{0,4} + \frac{0,9522}{0,5} + \frac{0,8931}{0,6} + \frac{0,8231}{0,7} + \frac{0,7725}{0,8} + \frac{0,6725}{0,9} + \frac{0,5725}{1,0}.$$

В привычной манере устанавливая уровневые множества  $E_{1\alpha}$  ( $\alpha \in [0; 1]$ ) и вычисляя соответствующие им мощности  $M(E_{1\alpha})$  по формуле (10), имеем:

- для  $0 < \alpha < 0,4522$ :  $\Delta\alpha = 0,4522$ ,  $E_{1\alpha} = \{0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1\}$ ,  $M(E_{1\alpha}) = 0,5$ ;
- для  $0,4522 < \alpha < 0,5522$ :  $\Delta\alpha = 0,1$ ,  $E_{1\alpha} = \{0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1\}$ ,  $M(E_{1\alpha}) = 0,55$ ;
- для  $0,5522 < \alpha < 0,5725$ :  $\Delta\alpha = 0,0203$ ,  $E_{1\alpha} = \{0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1\}$ ,  $M(E_{1\alpha}) = 0,60$ ;
- для  $0,5725 < \alpha < 0,6522$ :  $\Delta\alpha = 0,0797$ ,  $E_{1\alpha} = \{0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9\}$ ,  $M(E_{1\alpha}) = 0,55$ ;
- для  $0,6522 < \alpha < 0,6725$ :  $\Delta\alpha = 0,0203$ ,  $E_{1\alpha} = \{0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9\}$ ,  $M(E_{1\alpha}) = 0,60$ ;
- для  $0,6725 < \alpha < 0,7522$ :  $\Delta\alpha = 0,0797$ ,  $E_{1\alpha} = \{0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8\}$ ,  $M(E_{1\alpha}) = 0,55$ ;
- для  $0,7522 < \alpha < 0,7725$ :  $\Delta\alpha = 0,0203$ ,  $E_{1\alpha} = \{0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8\}$ ,  $M(E_{1\alpha}) = 0,60$ ;
- для  $0,7725 < \alpha < 0,8231$ :  $\Delta\alpha = 0,0505$ ,  $E_{1\alpha} = \{0,4; 0,5; 0,6; 0,7\}$ ,  $M(E_{1\alpha}) = 0,55$ ;
- для  $0,8231 < \alpha < 0,8522$ :  $\Delta\alpha = 0,0291$ ,  $E_{1\alpha} = \{0,4; 0,5; 0,6\}$ ,  $M(E_{1\alpha}) = 0,50$ ;
- для  $0,8522 < \alpha < 0,8931$ :  $\Delta\alpha = 0,0409$ ,  $E_{1\alpha} = \{0,5; 0,6\}$ ,  $M(E_{1\alpha}) = 0,55$ ;
- для  $0,8931 < \alpha < 0,9522$ :  $\Delta\alpha = 0,0591$ ,  $E_{1\alpha} = \{0,5\}$ ,  $M(E_{1\alpha}) = 0,50$ .

Далее на основании (11) численная оценка нечёткого вывода  $E_1$  находится как:

$$F(E_1) = \frac{1}{0,9522} \int_0^{0,9522} M(E_{1\alpha}) d\alpha = (0,5 \cdot 0,4522 + 0,55 \cdot 0,1 + 0,60 \cdot 0,0203 + 0,55 \cdot 0,0797 + 0,60 \cdot 0,0203 + 0,55 \cdot 0,0797 + 0,60 \cdot 0,0203 + 0,55 \cdot 0,0505 + 0,50 \cdot 0,0291 + 0,55 \cdot 0,0409 + 0,5 \cdot 0,0591) = 0,5248.$$

Аналогичными действиями устанавливаем точечные оценки нечётких выводов относительно уровней ПБ и для остальных регионов:  $a_2 - F(E_2)=0,5482$ ;  $a_3 - F(E_3)=0,5426$ ;  $a_4 - F(E_4)=0,5723$ . Как видно из полученных расчётов, наибольшую оценку получил регион  $a_4$  со значением 0,5723. Далее по убыванию:  $a_2 \rightarrow 0,5482$ ,  $a_3 \rightarrow 0,5426$  и  $a_1 \rightarrow 0,5248$ .

## 6. Заключение

Получены численные оценки уровней ПБ в регионах с учётом их соответствия основаниям СЦ FAO. При этом, как регионы, так и предварительные экспертные оценки выбраны в произвольном порядке. Тем не менее, надеемся, что предложенная методика оценки существенно повышает степень объективности конечных результатов относительно уровня ПБ для стран, где ограничен или недостаточно гарантирован регулярный доступ населения к высококачественной пище, необходимой для ведения активного и здорового образа жизни.

Для описания термов (в основном из левых частей применённых правил) необходимо провести предварительные исследования, связанные со сбором релевантной информации из предметных областей и с проведением статистического анализа, включая предварительные экспертные оценки самих факторов влияния на основания СЦ FAO, с тем, чтобы сформировать универсумы для построения адекватных нечётких множеств. Пожалуй, это является самым сложным и затратным по времени процессом, для реализации которого, в первую очередь, необходим доступ к базам данных FAO UN.

В [5] предлагается метод многокритериального выбора альтернатив в условиях неопределённости, в основе которого лежат принцип пересечения нечётких критериев Беллмана-Заде и 9-балльная шкала лингвистических оценок Саати. Суть и новизна этого метода заключаются в том, что он не требует трудоёмких процедур, связанных с построением и обработкой матриц парных сравнений. Вместо этого используются специальные соотношения, основанные на сравнении с наихудшей альтернативой и наименее важным критерием. Тем не менее, данный метод многокритериальной оценки нуждается в первичной статистической совокупности данных из предметных областей.

В статье предлагается принципиально иной способ фаззификации термов на базе дискретного универсума  $(a_1, a_2, \dots, a_n)$ , где  $a_k$  – оцениваемый на ПБ регион (страна), характеризующийся своими данными по каждому из факторов в составе СЦ FAO. При этом для нашего подхода совершенно не важно число оцениваемых регионов: чем больше их, тем качественнее будет конечная оценка. В этом случае терм  $A$ =НЕОГРАНИЧЕННАЯ, как одно из значений ЛП «Физическая доступность ресурсов», может быть описан нечётким множеством:  $A = \frac{\mu_A(u_1)}{a_1} + \frac{\mu_A(u_2)}{a_2} + \dots + \frac{\mu_A(u_n)}{a_n}$ , где  $\mu_A(u_k)$  ( $k=1 \div n$ ) – значение функции принадлежности показателя физической доступности ресурсов  $u_k$  региона  $a_k$  к  $A$ . В статье в качестве функции принадлежности выбрана гауссовская функция:  $\mu_A(u_k) = \exp\{-(u - u_k)^2 / \sigma_k^2\}$ , где  $\sigma_k^2$  – плотность (дисперсия) распределения соседних элементов, выбирающаяся индивидуально для каждого случая.

Очевидно, что предлагаемые в статье типовые модели нуждаются в структурной и параметрической оптимизации с тем, чтобы претендовать на необходимую степень адекватности поставленной задаче. Но предлагаемый подход именно тем и хорош, что является в определённом смысле гибким по отношению к возможным дополнениям и/или уточнениям, которые могут быть предъявлены экспертами и/или заказчиками. Тем не менее, даже

в предложенном «несовершенном» варианте модель, не выдавая абсолютных значений для оценки уровней ПБ региона, способна реагировать на возможные изменения в факторах влияния и обеспечивать целостность, согласованность и синергетический эффект мероприятий, проводимых при поддержке отдельных программ, проектов и/или стран, в соответствии со стратегическими целями ФАО.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Новая стратегическая рамочная программа ФАО UN [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.fao.org/docrep/meeting/029/mi558r.pdf>.
2. Алиев Э.Т. Мониторинг результатов и отчётов ФАО UN на основе применения нечёткой когнитивной модели / Э.Т. Алиев // Математичні машини і системи. – 2016. – № 2. – С. 56 – 71.
3. Zadeh L.A. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes / L.A. Zadeh // IEEE Trans., Syst., Man., Cybern. – 1973. – Vol. 3. – P. 28 – 44.
4. Рзаев Р.Р. Аналитическая поддержка принятия решений в организационных системах / Рзаев Р.Р. – Saarbruchen(Germany): Palmerium Academic Publishing, 2016. – 306 с.
5. Ротштейн А.П. Нечёткий многокритериальный выбор альтернатив: метод наихудшего случая / А.П. Ротштейн // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2009. – № 3. – С. 51 – 55.

*Стаття надійшла до редакції 06.11.2017*