

# НОВАЯ МОДЕЛЬ УСТАНОВЛЕНИЯ ТАРИФОВ НА ПРИРОДНЫЙ ГАЗ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

Бараташвили С.И.

## SUMMARY

## A NEW APPROACH TO ESTABLISHMENT OF NATURAL GAS TARIFFS BASED ON FUZZY SETS

This paper introduces a new approach to establish natural gas tariffs based on fuzzy aggregation. The existent situation in tariffication processes is considered. The necessity to use new methods for implementation of these processes is motivated. A new method for calculations of natural gas tariffs is introduced, thoroughly discussed and its algorithm given. The further development of the obtained results is outlined. The offered approach may be used for tariffication of natural gas and many others various goods and services as well.

**Keywords:** tariff, fuzzy sets, coordination index, similarity, fuzzy aggregation

### Описание проблемы.

Предлагаемая работа посвящена актуальной для всех частных и юридических лиц теме – новому подходу к установлению тарифов на природный газ. Статья структурирована следующим образом. Сначала приведен краткий анализ существующего положения дел в процессе тарификации, выявлены «узкие места» и предложено использование нечеткого подхода к регулированию тарифов. Затем излагаются ныне используемые в Национальной Комиссии по Регулированию Энергетики (НКРЭ) Грузии принципы и обобщенные процедуры тарификации. После этого следует обсуждение и обоснование применения аппарата теории нечетких множеств для расчета тарифов на природный газ и дается обобщенный алгоритм этого процесса. Статья заканчивается наметками дальнейших путей развития работы и обсуждением возможных областей применения предложенного подхода.

Одна из самых важных задач НКРЭ Грузии состоит в том, чтобы утверждать или устанавливать различные методологии регулирования, в том числе предназначенные для расчета тарифов на природный газ. Однако по ряду объективных причин эти методологии содержат некоторые недостатки. При разработке этих методологических документов ныне используются сравнительно простые методы, хорошо зарекомендовавшие себя в среде устоявшейся, развитой экономики, но «хромяющие» в условиях зарождающегося конкурентного энергетического

рынка, численные характеристики которого имеют большую степень неопределенности.

Отсюда следует, что в регулирующий орган поступает неполноценная информация, к тому же с примесью субъективизма, а это в свою очередь значительно затрудняет осуществление процессов адекватного прогнозирования, полноценного регулирования и установления тарифов.

Несомненно, что современные социально-экономические условия жизни определяют необходимость разработки новых, более эффективных моделей тарифных систем. При этом эти методы моделирования должны «уметь» оперировать неполными знаниями о расчетных величинах и обрабатывать неопределенную, нечеткую информацию. Однако здесь мы сталкиваемся с некоторыми трудностями. Даже такой испытанный инструмент математического моделирования, как теория вероятностей и математическая статистика, к сожалению, не может учитывать такие аспекты неопределенности входных данных для регулирования энергетики, как частичное неучтение некоторых параметров энергетического рынка, неполноценность и/или нечеткость информации о различных расчетных величинах и т.п. Поэтому использование этой теории для моделирования такой «недоопределенной» информации неправомерно [1] и здесь нужен новый подход позволяющий адекватно моделировать неполное знание, неполноценную, нечеткую информацию.

Теория нечетких множеств (Fuzzy Sets Theory), на наш взгляд, полностью отвечает поставленной нами задаче. Основатель этой теории (1965) Лотфи Заде (Lotfi A. Zadeh) в своей выдающейся пионерской работе [2] впервые предложил оценивать функцию принадлежности объекта множеству посредством интервала  $[0;1]$  вместо принятых в классической математике бинарных значений «либо 0 либо 1». Последовательно развивая свой подход, Заде ввел понятие лингвистической переменной (1975,) и сумел математически смоделировать ситуации реально имеющие место в процессе человеческого мышления, например «очень низкий, низкий, средний, высокий, очень высокий» и т.п. [3] (ср., например, с ценовыми характеристиками энергоносителей). Становится очевидным, что подход, опирающийся на теорию нечетких множеств может стать адекватным инструментом для эффективного осуществления процессов регулирования и тарификации.

### Действующие сегодня правила и процедуры.

### Основополагающие принципы установления и

структурные компоненты тарифов на природного газа определены законом Грузии «Об электроэнергетике и природном газе». Вкратце, эти принципы заключаются в следующем:

возмещение полной стоимости услуг природный газетических предприятий;

обеспечение коммерческих и конкурентных отношений между производителями и потребителями на справедливой основе;

Что же касается самих процессов установления тарифов, то они регламентируются методологией, рассмотренной на открытых заседаниях и утвержденной соответствующим Постановлением НКРЭ Грузии [4], в которую периодически вносятся дополнения и изменения. Рассмотрим ныне действующий процесс установления тарифов на природный газ. Здесь мы приведем пример укрупненного расчета тарифа на распределение природный газа.

Самая общая формула вычисления любого тарифа выглядит так:

$$T = \frac{Q}{E}, \quad (1)$$

где  $T$  – значение тарифа (лари/1000м3),  $Q$  – требуемый годовой доход (лари),  $E$  – количество природного газа (1000м3).

Новый подход, основанный на нечеткости.

Как уже упоминалось выше, нечеткое множество (НМ) является обобщением понятия обычного множества путем расширения области значений характеристической функции  $\{0, 1\}$  до континуума  $[0; 1]$ . Таким образом НМ  $A$  на заданном универсуме  $X$  (конечном или бесконечном) определяется следующим образом:

$$A = \{(x | \mu_A(x))\}, \quad x \in X, \mu_A(x) \in [0; 1] \quad (4)$$

где  $\mu_A(x)$  степень принадлежности элемента  $x$  этому НМ. Отсюда ясно, что переход от принадлежности к непринадлежности элемента универсума какому-либо НМ происходит не скачкообразно, а постепенно пробегая значения из интервала  $[0; 1]$ . Из (4) следует, что НМ однозначно определяется своей функцией принадлежности, поэтому класс всех НМ на  $X$  можно математически описать следующим образом:

$\Psi(X) = \{\mu | \mu: X \rightarrow [0; 1]\}$ . Отметим, что класс всех НМ на  $X$  является решеткой.  $\Psi(X)$  вместе с изотонной оценкой и метрикой называется метрической решеткой НМ (см., например, [5]).

Далее, вплоть до ссылки на работу [7], приводятся результаты из работы [6], в которой на основе аксиоматического подхода впервые введено понятие показателя согласованности конечной совокупности НМ, определенных на метрической решетке НМ. Установлены необходимые и достаточные условия единственности этого показателя согласованности. Оставляя в стороне вопросы полноты и независимости введенной аксиоматики, построением

соответствующего примера показано, что эта система аксиом является непротиворечивой.

Здесь для простоты изложения мы приведем – достаточную для решения поставленной задачи – частную дискретную модификацию показателя согласованности  $S\{A_j\}$  конечной совокупности НМ  $\{A_j\}$ ,  $j = \overline{1, m}$ ,  $m = 2, 3, \dots$ , определенной на конечном универсуме  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ ,  $N = 1, 2, \dots$ :

$$S\{A_j\} = q(N - [(2m+1)/4]^{-1} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^N |\mu_{A_j}(x_i) - \mu_{A_i}(x_i)|), \quad q > 0 \quad (5)$$

Здесь и далее, квадратные скобки обозначают целую часть числа, а НМ  $A^*$  является представителем данной конечной совокупности, который определяется следующим образом:

$$A'_{[m/2]} \subseteq A^* \subseteq A'_{[(m+1)/2]+1}, \quad (6)$$

где конечная совокупность НМ  $\{A_j\}$  является регуляцией конечной совокупности НМ  $\{A_j\}$  т.е. для любого  $x \in X$  конечные множества  $\{\mu_{A_j}(x)\}$  и  $\{A_j\}$  равны и, в то же время, Из (5) очевидно, что

$$S_{\max} \{A_j\} = qN, \quad q \geq 0 \quad (7)$$

В работе [7] предложен метод нечеткого агрегирования оценок группы экспертов. Вкратце, суть предложенного метода заключается в следующем:

Показатель согласованности конечной совокупности НМ, определенный на основе аксиоматического подхода, является базисом предложенного метода;

Введено важное понятие подобия конечных совокупностей НМ в метрической решетке НМ. Доказано, что в метрической решетке НМ с непрерывной изотонной оценкой для любых двух конечных совокупностей НМ  $\{A_j\}$  и  $\{B_j\}$ , таких, что  $S\{A_j\}, S\{B_j\} < S_{\max}$ , существует конечная совокупность НМ  $\{C_j\}$ , подобная  $\{B_j\}$  и, одновременно,  $S\{C_j\} = S\{A_j\}$ ,  $j = \overline{1, m}$ ,  $m = 2, 3, \dots$ . Кроме того доказано, что если конечные совокупности  $\{A_j\}$  и  $\{B_j\}$  подобны со степенью подобия  $k$ , то показатели согласованности этих конечных совокупностей НМ удовлетворяют уравнению:

$$S\{A_j\} = k S\{B_j\} + (1-k) S_{\max}, \quad j = \overline{1, m} \quad m = 2, 3, \dots \quad (8);$$

Показано, что в метрической решетке НМ с непрерывной изотонной оценкой для любых двух, подобных со степенью подобия  $k > 0$ , конечных совокупностей НМ  $\{A_j\}$  и  $\{B_j\}$ , таких, что  $S\{C_j\} > S\{B_j\}$ , для любого  $k$  существует единственная конечная совокупность НМ  $\{A_j\}$ , такая, что  $\{A_j\}$  подбодна  $\{C_j\}$  со степенью подобия 1 и  $A_l = B'_l$ ,  $j = \overline{1, m}$ ,  $l \in \{1, 2, \dots, m\}$ ,  $m = 2, 3, \dots$ ;

Пусть группа экспертов оценивает степень принадлежности некоторого концепта данному универсуму. Основополагающее допущение заключается в том, что если эксперты в какой-либо точке

универсума достигли наибольшей согласованности, то потенциально они могут достичь аналогичного результата и в любой другой точке данного универсума. Эта «наилучшая» попытка экспертов с максимальным показателем согласованности берется за базис и остальные попытки (оценки экспертов в других точках универсума) проецируются на этот базис. Затем в каждой точке универсума строится конечная совокупность одноэлементных НМ, каждая из которых подобна аналогичной конечной совокупности одноэлементных НМ в точке максимальной согласованности и, в то же время, имеет наибольший показатель согласованности. При всем этом оценка каждого эксперта на всех точках универсума учитывается в равнозначной степени. И, в итоге, используя специальные операторы нечеткого агрегирования (см. ниже), выводится результат группового принятия решений [9].

Для эффективной реализации предложенного метода предложены специальные операторы для нечеткой обработки групповых экспертных оценок:

$$\mu_{A'} = \begin{cases} (\mu_{A_{[m/2]}} + \mu_{A_{[(m+3)/2]}}) / 2, & \text{если } \sum_{j=1}^{[(m+1)/2]} \rho(A'_j, A'_{[m/2]}) = \sum_{j=[m/2]+1}^m \rho(A'_j, A'_{[(m+3)/2]}), \\ \mu_{A_{[m/2]}} + \frac{\sum_{j=1}^{[(m+1)/2]} \rho(A'_j, A'_{[m/2]})}{\sum_{j=1}^{[(m+1)/2]} \rho(A'_j, A'_{[m/2]}) + \sum_{j=[m/2]+1}^m \rho(A'_j, A'_{[(m+3)/2]})} (\mu_{A_{[(m+3)/2]}} - \mu_{A_{[m/2]}}), & \text{иначе} \end{cases} \quad (9)$$

$$\mu_{B_j'} = \begin{cases} \frac{v(B'_{[m/2]}) + v(B'_{[(m+3)/2]})}{2}, & \text{если } \sum_{j=1}^{[(m+1)/2]} \rho(B'_j, B'_{[m/2]}) = \sum_{j=[m/2]+1}^m \rho(B'_j, B'_{[(m+3)/2]}), \\ c + k \frac{v(B'_{[m/2]}) + \frac{\sum_{j=1}^{[(m+1)/2]} \rho(B'_j, B'_{[m/2]})}{\sum_{j=1}^{[(m+1)/2]} \rho(B'_j, B'_{[m/2]}) + \sum_{j=[m/2]+1}^m \rho(B'_j, B'_{[(m+3)/2]})}}{2}, & \text{иначе} \end{cases} \quad (10)$$

где

$$\rho(A, B) = \sum_{i=1}^N |\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i)|, \quad v(A) = \sum_{i=1}^N \mu_A(x_i), \quad c = \left( \sum_{i=1}^m (\mu_{B_i'}(x_i) - k v(B_i')) \right) / m$$

,  $x_i \in X$ ,  $A, B \in \Psi(X)$ ,  $m = 2, 3, \dots$ ,  $1 \in \{1, 2, \dots, m\}$ .

Теперь мы готовы, наконец, приступить к решению задачи установления тарифа на распределение природного газа на основе вышеописанного метода нечеткого агрегирования информации. Пусть некоторая компания-лицензиат представила в регулирующий орган заявку на установление тарифа. Как мы установили выше, рассмотрению подлежат 10 укрупненных параметров. Можем считать, что имеется в наличии универсальное множество

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_{10}\}, \quad (11)$$

где:  $x_1$  – заработная плата;  $x_2$  – амортизация;

$x_3$  – другие эксплуатационные расходы;  $x_4$  – прямые налоги;  $x_5$  – норма прибыли (отдачи) на собственный капитал;  $x_6$  – доля собственного капитала в общем капитале;  $x_7$  – доля процентов под займ;  $x_8$  – доля займа в общем объеме капитала;  $x_9$  – инвестированный капитал;  $x_{10}$  – количество распределяемой природный газа и значения представленных параметров на этом универсуме представлены численными значениями  $\{X_i\}$ ,  $i \in \{1, 2, \dots, 10\}$ .

Далее, эти параметры рассматриваются экспертами регулирующего органа, на предмет их соответствия законодательным и социально-экономическим критериям тарифного регулирования. Пусть имеется группа из  $m$  экспертов,  $m = 2, 3, \dots$ , которая оценивает адекватность представленных параметров на соответствие существующим правилам и процедурам тарификации. На основе сформулированных в рамках предложенного метода требований шкалирования численных значений заявочных параметров требований, экспертам предлагается спроецировать представленные компаниями – лицензиатами численные значения вышеперечисленных параметров, в действительный интервал  $[0; 1]$ . Данное действие предлагается осуществить посредством введения нормировочных коэффициентов  $K_i(X_i)$ ,  $i = \{1, 2, \dots, 10\}$ . Определение этих коэффициентов, по идее, дело тонкое, но носит несомненно технический характер и для данной работы имеет непринципиальное значение.

Определим оценку, произведенную экспертом №  $j$  на универсуме (11), как НМ  $\{B_j'\}$ , полученное посредством вышеупомянутого нормировочного коэффициента. Затем определим ее регуляцию (см.

выше)  $\{B_j'\}$ ,  $j = \overline{1, m}$ ,  $m = 2, 3, \dots$  и, в результате для для описания оценок всех экспертов, получаем конечную совокупность из  $m$  НМ, определенных на универсуме  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_{10}\}$ :

$$\begin{matrix} & x_1 & x_2 & \dots & x_{10} \\ B_1' & \mu_{B_1'}(x_1) & \mu_{B_1'}(x_2) & \dots & \mu_{B_1'}(x_{10}) \\ B_2' & \mu_{B_2'}(x_1) & \mu_{B_2'}(x_2) & \dots & \mu_{B_2'}(x_{10}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ B_m' & \mu_{B_m'}(x_1) & \mu_{B_m'}(x_2) & \dots & \mu_{B_m'}(x_{10}) \end{matrix} \quad (12)$$

Теперь, резюмируя вышеизложенное, приступаем к практической реализации предложенного подхода посредством описания общего алгоритма ( $N = 10$ ).

Обобщенный алгоритм.

Шаг 0: Инициализация - конечная совокупность НМ  $\{B_j'\}$  на универсуме (11), ее регуляция (12)  $\{B_j'\}$   $j = \overline{1, m}$ ,  $m = 2, 3, \dots$ . Обозначение результата нечеткого агрегирования на элементе  $x_i$  через  $\mu(x_i)$ ,  $i = \overline{1, N}$ .

Шаг 1: Вычисление значений показателей согласованности конечных совокупностей одноэлементных НМ  $\{B'_j\}$  в каждой точке  $x_i$ ,  $i = \overline{1, N}$  посредством (5). Обозначение полученных величин через  $S(x_1), S(x_2), \dots, S(x_N)$  соответственно. Вычисление значения  $S_{\max}$  посредством (7).

Шаг 2: Выбор из множества  $\{S(x_i)\}$  элемента  $S^*$ , который не меньше любого элемента, за исключением  $S_{\max}$ .

Шаг 3: Выполнить Шаг 4 для  $i = \overline{1, N}$ .

Шаг 4: Вычислить  $\Delta = S^* - S(x_i)$ .

Если  $D < 0$ , то  $\mu(x_i) = \mu_{B_j}(x_i)$ ;

Если  $D = 0$ , то вычислить значение  $\mu(x_i)$  посредством (9);

Если  $D > 0$ , то вычислить значение  $k_i$  из уравнения (8) и значение  $\mu(x_i)$  посредством (10).

Шаг 5: Представление результата нечеткого агрегирования  $\{\mu(x_1), \mu(x_2), \dots, \mu(x_N)\}$ .

Шаг 6: Преобразование значений из действительного интервала  $[0; 1]$  в размерности заявочных параметров и вычисление тарифа посредством (1).

#### Заключение

Предлагаемая работа посвящена попытке усовершенствования регулирования процесса тарификации природного газа. Новый подход базируется на сравнительно молодой отрасли математической науки - теории нечетких множеств. С помощью этого направления мы предложили обобщение расчетов тарифов на природного газа, охватывающее обработку субъективной, неопределенной и, в конечном итоге, «неполноценной» информации. На наш взгляд, предложенный подход может быть использован в процессах тарификации природного газа и других различных товаров и услуг.

Следует отметить, что предложенный подход позволяет решать задачи, относящиеся к методам группового принятия решений. Намечая дальнейшие пути развития данной работы, мы полагаем, что при оценке заявочных тарифных параметров одним экспертом, использование такого раздела теории НМ, как аппарат нечетких чисел, (интервальных, треугольных и трапециодальных), будет являться весьма эффективным направлением.

1. Gustave Nguene Nguene, Matthias Finger, A fuzzy-based approach for strategic choices in electric energy supply. The case of a Swiss power provider on the eve of electricity market opening, Engineering Applications of Artificial Intelligence, v. 20, Issue 1, (February 2007), 37-48.

2. D. Dubois, H. Prade, Possibility Theory, an Approach to Computerized Processing of Uncertainty, Plenum Press, New York, 1988.

3. L.A. Zadeh, Fuzzy sets, Information and Control v. 8 (1965) 338–353.

4. L.A. Zadeh, The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning, Information Sciences v. 8, (1975) 199–249.

5. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта/Под ред. Д. А. Поспелова.- М.: Наука. Гл. ред. физ.- мат. лит., 1986.-312 с.- (Проблемы искусственного интеллекта).

6. Об утверждении методологии, правил и процедур установления тарифов на природный газ, Постановление Национальной Комиссии по Регулированию Энергетики Грузии № 3 от 1 июля 1998 года.

7. T. Tsabadze, A method for fuzzy aggregation based on group expert evaluations, Fuzzy Sets and Systems 157 (2006) 1346-1361.

8. T. Tsabadze, The coordination index of finite collection of fuzzy sets, Fuzzy Sets and Systems 107 (1999) 177-185.

9. Цабадзе Т.В., Новый подход к установлению тарифов на электроэнергию на основе нечетких множеств, 2010, ст. 17-23.