

## Multiplicative Integral Measure of Evaluating the Energy Security Situation

Fedorchenko S., Fedorchenko G.

Pridnestrovian State University

Tiraspol, Republic of Moldova

**Abstract.** The approach to the evaluation of the integral measure estimation of energy safety with using a generalized utility Harrington-Menchers's function is considered in this paper. The algorithm of formation of the integral index includes the use of both additive and multiplicative measures. To test data on the energy security were used referred to Transnistria. It is presented an example of the construction of such a measure. During carrying out of this work the analysis of the indicators recommended in the open literature as components of energy safety is made. It is shown that a significant part of these indicators is closely linked with others.

**Keywords:** generalized utility function, galaxy correlation, a display method, energy security.

### Măsura multiplicativă integrală de evaluare a stării securității energetice

Fedorchenko S., Fedorchenko G.

Universitatea de Stat din Transnistria

Tiraspol, Republica Moldova

**Rezumat.** În lucrarea se examinează abordarea, care permite să se propună un indicator integral pentru caracterizarea securității energetice a regiunii. În acest scop se utilizează funcția lui Harrington-Mencher. Algoritmul de formare a indicelui integral include utilizarea ambelor măsuri atât cea aditivă, cât și cea multiplicativă. Pentru a testa abordarea propusă a acestei probleme privind estimarea nivelului securității energetice s-a utilizat informația primară ce caracterizează starea securității energetice a regiunii Transnistria.

**Cuvinte-cheie:** funcție generalizată a utilității, pleiade de corelare, metoda indicativă, securitatea energetică.

### Мультипликативная интегральная мера оценки состояния энергетической безопасности

Федорченко С.Г., Федорченко Г.С.

Приднестровский государственный университет

Тирасполь, Республика Молдова

**Аннотация.** Предложен подход, позволяющий сформировать интегральный показатель энергетической безопасности региона. Используется функция Харингтона-Менчера. Алгоритм формирования интегрального показателя включает в себя использование как аддитивной, так и мультипликативной меры. Для апробации подхода использованы данные о состоянии энергетической безопасности Приднестровья.

**Ключевые слова:** обобщенная функция полезности, корреляционные плеяды, индикаторный метод, энергобезопасность.

### Введение

При решении задачи управления реальным объектом, необходимо, в качестве первого шага, описать состояние объекта. Как правило, это описание содержит некий набор характеристик объекта, которые измеряются тем или иным образом, или оцениваются экспертами. Таким образом, мы получаем набор величин, имеющие различные единицы измерения, зачастую различную степень важности, но все они, по нашему мнению, характеризуют с разных сторон состояние объекта управления. Для решения задачи управления крайне желательно свести весь этот массив данных к одному числу – некоторому интегральному показателю, который бы в полной мере (в соответствии с

поставленной задачей управления) описывал состояние объекта. Используя полученный показатель можно провести численную имитацию функционирования объекта при различных внешних условиях и выбрать оптимальные режимы его функционирования. Рассмотрим возможные подходы к решению этой задачи на примере энергетической безопасности Приднестровья.

### I. ОПИСАНИЕ ОБЩИХ ПОДХОДОВ К АНАЛИЗУ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Анализ энергетической безопасности страны, региона опирается, как правило, на индикаторный анализ [1]. Исследователь формирует список величин, значения

которых, с различных сторон позволяют судить об энергетической безопасности, интересующей нас страны, региона. Поскольку мы получаем список величин, имеющих различные единицы измерения, необходимо привести их к некой единой безразмерной шкале, используя которую можно сравнить их между собой. С этой целью, в индикаторном анализе вводится шкала кризисности. Классификация состояний осуществляется по шкале кризисности, сформированной для каждого индикатора отдельно.

В [2, с. 21] предлагается следующее построение шкалы кризисности:

- нормальное – 1 балл;
- предкризисное начальное -2 балла;
- предкризисное развивающееся- 3 балла;
- предкризисное критическое – 4 балла;
- кризисное нестабильное – 5 баллов;
- кризисное угрожающее – 6 баллов;
- кризисное критическое – 7 баллов;
- кризисное чрезвычайное – 8 баллов.

Пример 8-и бальной шкалы кризисности представлен на рис. 1.



Рис. 1. Пример 8-и бальной шкалы кризисности для индикатора X.

После того, как для всех индикаторов построены шкалы кризисности, получены значения индикаторов, и найдены соответствующие значения баллов, рекомендуется найти среднее значение баллов для каждого блока (если все индикаторы одинаково важны) или средневзвешенное значение баллов (если важность индикаторов различна).

Выполнив эти действия для каждого блока индикаторов, мы можем найти среднее (или средневзвешенное) значение блочных индикаторов, в результате чего мы получим интегральный показатель, характеризующий состояние объекта управления, например, энергетического комплекса.

## II. ВИДЫ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТА

Как упомянуто нами выше, чаще всего находят среднее или средневзвешенное количество баллов и используют полученное значение как интегральный показатель состояния объекта. Однако такой подход обладает рядом недостатков, главный из которых, по нашему мнению - его не универсальность. Рассмотрим два случая.

<sup>1</sup> Негативное значение одного индикатора может быть скомпенсировано положительным значением другого, например, неравномерность поставок топлива компенсируется имеющимися запасами топлива.

<sup>2</sup> Негативное значение одного индикатора сводит на нет все сколько угодно благополучные значения других индикаторов, например, острая нехватка генерирующих мощностей сводит на нет наличие современной системы электроснабжения.

В первом случае мы можем абсолютно обоснованно строить привычный аддитивный интегральный показатель – например среднее арифметическое используемых индикаторов. Во втором случае нам необходимо использовать мультипликативный интегральный показатель, в процессе формирования которого мы используем произведение индикаторов.

Предлагается для построения мультипликативного интегрального показателя использовать обобщенную функцию полезности Харрингтона-Мечера [4, 5], которую будем называть обобщенной функцией полезности [5].

В основе построения этой обобщённой функции лежит идея преобразования натуральных значений частных величин в безразмерную шкалу (шкалу желательности). Назначение этой шкалы – установление соответствия между физическими и психологическими параметрами. Здесь под физическими параметрами понимаются

значения контролируемых величин, характеризующие функционирование исследуемого объекта, а под психологическими параметрами понимаются оценки потребителем приемлемости для него того или иного значения отклика. Чтобы получить шкалу желательности, удобно пользоваться табл. I.

Таблица I.

**Связь между количественными значениями безразмерной шкалы и психологическим восприятием человека**

Желательность	Отметки на шкале желательности
Очень хорошо	1,00 – 0,80
Хорошо	0,80 – 0,63
Удовлетворительно	0,63 – 0,37
Плохо	0,37 – 0,20
Очень плохо	0,20 – 0,00

Значение частного отклика, переведённое в безразмерную шкалу желательности, обозначается через  $d_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) и называется частной желательностью (полезностью). Шкала полезности имеет интервал от нуля до единицы. Значение  $d_i=0$  соответствует абсолютно неприемлемому уровню данного свойства, а значение  $d_i=1$  – самому лучшему значению свойства [4].

После определения величины  $d_i$  частных показателей полезности всех  $i=1, 2, \dots, m$  откликов можно переходить к вычислению обобщённой функции полезности  $D$ . Для нахождения значения  $D$  необходимо предварительно определить значения веса  $\alpha_i$  для каждого частного показателя  $d_i$ . При этом наиболее важному отклику (или нескольким

откликам) присваивается вес, равный единице, и далее с убыванием.

Обобщённая функция желательности может быть найдена по формуле

$$D = \sum_{i=1}^m \alpha_i \sqrt[m]{\prod_{i=1}^m d_i^{\alpha_i}}, \quad (1)$$

где  $m$  – число частных оценок качества (число сравниваемых откликов);  $d_i$  – частный критерий отклика;  $\alpha_i$  – вес –  $i$ -го частного критерия.

Нами в [5] предложено состыковать уровни кризисности из рис. 1 и значения функции полезности из табл. II. Полученный результат представлен в табл. 2.

Таблица II.

**Состояния (уровни) энергетической безопасности, состыкованные со значениями функции полезности**

№ п/п	Название состояния	Кол-во баллов	Ситуация	Значения $d$ -функции
1	Нормальное	1	Нормальная	1-0,63
2	Предкризисное начальное	2	Предкризисная	0,63-0,5
3	Предкризисное развивающееся	3		0,5-0,44
62 4	Предкризисное критическое	4		0,44-0,37
5	Кризисное нестабильное	5	Кризисная	0,37-0,31
6	Кризисное угрожающее	6		0,31-0,26
7	Кризисное критическое	7		0,26-0,2
8	Кризисное чрезвычайное	8		0,2-0

Перед тем, как найти значение обобщенной функции полезности необходимо проверить выполнения требования, заключающегося в том, что среди частных откликов не должно быть линейно зависимых (коррелированных) между собой. В крайнем случае, допускается слабая корреляция. Для решения этой задачи можно использовать метод корреляционных плеяд [4].

### III. Анализ результатов мониторинга энергетической безопасности Приднестровья

Используем данные, полученные в ходе мониторинга состояния индикаторов, которые описывают энергетику Приднестровья. Данные взяты из [3]. Сформируем корреляционную матрицу, содержащую коэффициенты корреляции между значениями использованных индикаторов, и построим корреляционные плеяды. Корреляционная матрица представлена в табл. II

Таблица III.

Корреляционная матрица, итерация 1

	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9	Z10	Z11	Z12	Z13	Z14	Z15	Z16
Z1	1	0,21	0,82	0,54	0,81	-0,7	0,91	-0,7	0,91	-0,9	-0,8	0,54	0,58	0,96	-1	0,2
Z2	0,21	1	0,62	-0,6	0,52	-0,1	-0,2	-0,1	-0,1	0,03	-0,3	-0,6	0,19	0,33	-0,3	-0,6
Z3	0,82	0,62	1	-0	0,99	-0,3	0,55	-0,3	0,52	-0,7	-0,9	-0	0,38	0,92	-0,9	0,01
Z4	0,54	-0,6	-0	1	-0	-0,7	0,8	-0,7	0,84	-0,6	-0	1	0,43	0,33	-0,4	0,39
Z5	0,81	0,52	0,99	-0	1	-0,2	0,58	-0,3	0,52	-0,8	-1	-0	0,28	0,93	-0,9	0,16
Z6	-0,7	-0,1	-0,3	-0,7	-0,2	1	-0,7	1	-0,8	0,51	0,13	-0,7	-0,6	-0,5	0,48	0,12
Z7	0,91	-0,2	0,55	0,8	0,58	-0,7	1	-0,7	0,98	-0,9	-0,6	0,8	0,48	0,81	-0,8	0,47
Z8	-0,7	-0,1	-0,3	-0,7	-0,3	1	-0,7	1	-0,8	0,54	0,16	-0,7	-0,7	-0,5	0,53	0,11
Z9	0,91	-0,1	0,52	0,84	0,52	-0,8	0,98	-0,8	1	-0,9	-0,5	0,84	0,55	0,79	-0,8	0,34
Z10	-0,9	0,03	-0,7	-0,6	-0,8	0,51	-0,9	0,54	-0,9	1	0,84	-0,6	-0,3	-0,9	0,92	-0,5
Z11	-0,8	-0,3	-0,9	-0	-1	0,13	-0,6	0,16	-0,5	0,84	1	-0	-0,1	-0,9	0,86	-0,4
Z12	0,54	-0,6	-0	1	-0	-0,7	0,8	-0,7	0,84	-0,6	-0	1	0,43	0,33	-0,4	0,39
Z13	0,58	0,19	0,38	0,43	0,28	-0,6	0,48	-0,7	0,55	-0,3	-0,1	0,43	1	0,37	-0,6	-0,5
Z14	0,96	0,33	0,92	0,33	0,93	-0,5	0,81	-0,5	0,79	-0,9	-0,9	0,33	0,37	1	-1	0,28
Z15	-1	-0,3	-0,9	-0,4	-0,9	0,48	-0,8	0,53	-0,8	0,92	0,86	-0,4	-0,6	-1	1	-0,2
Z16	0,2	-0,6	0,01	0,39	0,16	0,12	0,47	0,11	0,34	-0,5	-0,4	0,39	-0,5	0,28	-0,2	1

По содержанию корреляционной матрицы, представленной в табл. 3, построим корреляционные плеяды.

Полученный результат представлен на рис. 2 ( $r_{\text{пор}}=0,69$ ). Мы получили 5 плеяд, причем 1-я плеяда содержит 11 членов, в 5-я плеяда- 2 члена, а остальные плеяды содержат по одному члену. Выберем от каждой плеяды одного представителя, так первую плеяду будет представлять индикатор  $z_1$ , вторую -  $z_2$ , третью  $z_{16}$ , четвертую -  $z_{13}$ , а пятую -  $z_8$ .

Сформируем новую корреляционную матрицу, содержащую коэффициенты корреляции только между представителями плеяд и построим по ней соответствующий граф. Полученная матрица представлена в табл. IV, а построенный по ней граф – на рис. 3. Эта итерационная процедура проводится до тех пор, пока не получим граф, в котором все плеяды будут содержать только по одному фактору.

Таблица IV.

Корреляционная матрица, итерация 2

	Z1	Z2	Z8	Z13	Z16
Z1	1	0,211	-0,72	0,582	0,196
Z2	0,21	1	-0,101	0,187	-0,605
Z8	-0,72	-0,10	1	-0,659	0,113
Z13	0,58	0,19	-0,659	1	-0,507
Z16	0,2	-0,61	0,113	-0,507	1

Полученные факторы будут взаимно независимы. В нашем случае задача была решена за 2 итерации

Представим полученные результаты в виде табл. 5.

В результате проведенной работы мы получили 4 плеяды, причем одна из них (№ 1) содержит 13 индикаторов, а остальные – по одному индикатору. Возникает вопрос, как быть с множеством индикаторов, принадлежащих 1-й плеяде. Мы не можем

взять один индикатор и рассматривать его как представителя всей плеяды, т.к. показатели кризисности индикаторов, входящих в плеяду, могут сильно отличаться друг от друга.

Чтобы проверить так ли это, вычислим значение частной функции полезности для каждого индикатора, представленного в табл. V. Полученные результаты приведены в табл. VI.

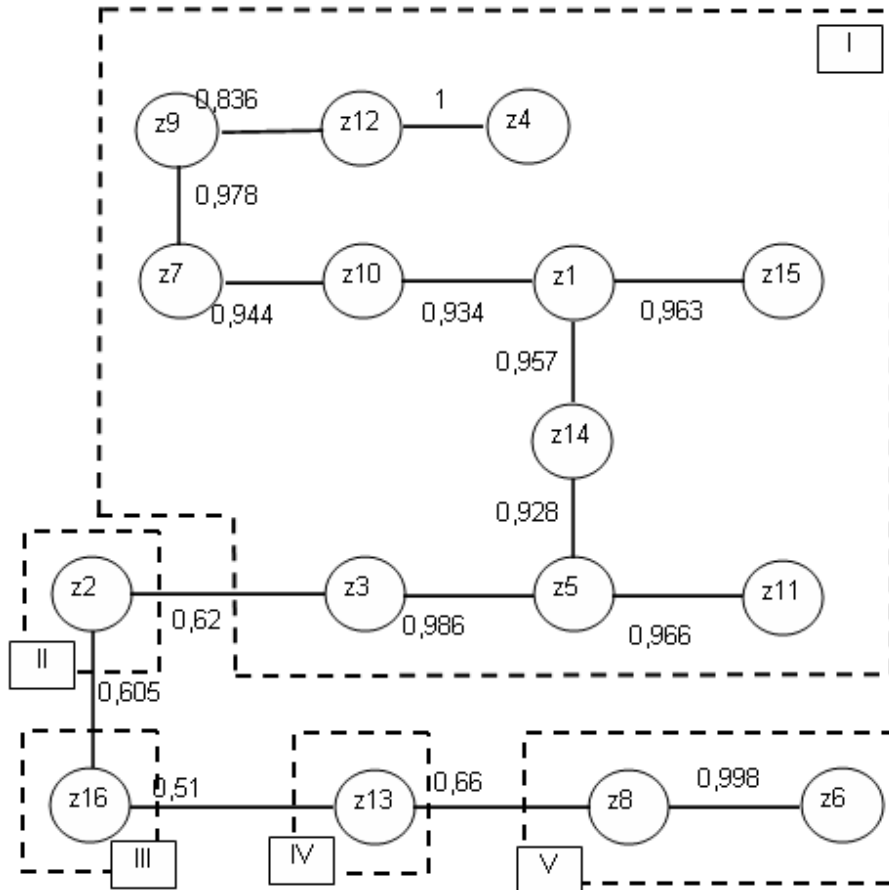


Рис. 2. Корреляционные плеяды, 1-я итерация

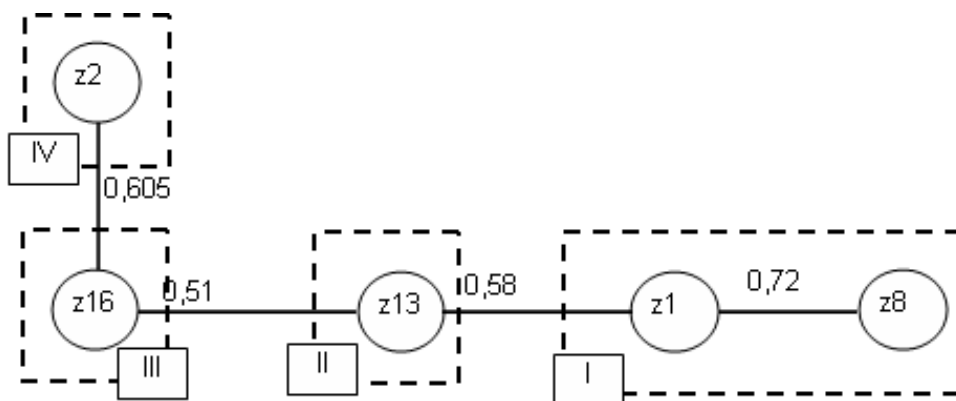


Рис. 3. Корреляционные плеяды, 2-я итерация

**Список индикаторов, с указанием номера плеяды**

Код индикатора	Название индикатора	Плеяда №	
		Итерация № 1	Итерация № 2
z1	Потребление топлива на душу населения.	1	1
z3	Выработка электроэнергии на душу населения.	1	1
z4	Выработка тепловой энергии на душу населения.	1	1
z5	Доля собственных источников в покрытии баланса.	1	1
z7	Доля блок-станций в общей установленной мощности.	1	1
z9	Уровень износа подстанций.	1	1
z10	Выбросы диоксида углерода.	1	1
z11	Потребление электроэнергии на душу населения.	1	1
z12	Потребление централизованной тепловой энергии на душу населения.	1	1
z14	Энергоемкость ВВП (отношение затраченной энергии к ВВП ПМР).	1	1
z15	Электроемкость ВВП (отношение затраченной электроэнергии к ВВП ПМР).	1	1
z2	Доля доминирующего топлива в суммарном количестве топлива.	2	4
z16	Инвестиции в энергетику.	3	3
z13	Соотношение стоимости энергоресурсов и среднедушевого дохода (отношение стоимости энергоресурсов, затраченных для выработки электро- и тепловой энергии к среднедушевому доходу населения).	4	2
z6	Доля ГЭС в общей установленной мощности.	5	1
Z8	Доля мощности наиболее крупной электростанции в общей установленной мощности.	5	1

Таблица VI.

**ЗНАЧЕНИЯ ФУНКЦИИ ПОЛЕЗНОСТИ ДЛЯ ИНДИКАТОРОВ, ПРИНАДЛЕЖАЩИХ 1-Й ПЛЕЯДЕ**

Коды	Описание индикатора	$d_i$ (по годам)					Весы индикаторов $\beta_i$
		2008	2009	2010	2011	2012	
1	2	3	4	5	6	7	8
z <sub>1</sub>	Потребление топлива на душу населения	0,01	0,87	1,00	1,00	1,00	0,5
z <sub>3</sub>	Выработка электроэнергии на душу населения.	0,05	1,00	1,00	1,00	1,00	0,5
z <sub>4</sub>	Выработка теплоэнергии на душу населения.	1,00	0,97	1,00	1,00	1,00	0,5
z <sub>5</sub>	Доля собственных источников электроэнергии в покрытии баланса за год.	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,9
z <sub>7</sub>	Доля блок-станций в общей установленной мощности.	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,6
z <sub>9</sub>	Уровень износа подстанций.	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,6
z <sub>10</sub>	Выбросы диоксида углерода.	0,01	0,01	0,04	1,00	1,00	0,4
z <sub>11</sub>	Потребление электроэнергии на душу населения.	0,60	0,61	0,62	0,62	0,62	0,6

PROBLEMELE ENERGETICII REGIONALE 1 (30) 2016  
ELECTROENERGETICĂ

1	2	3	4	5	6	7	8
$z_{12}$	Потребление централизованной теплоэнергии на душу населения.	0,54	0,55	0,56	0,56	0,58	0,8
$z_{14}$	Энергоемкость ВВП.	0,001	0,010	0,010	0,010	0,010	0,5
$z_{15}$	Электроемкость ВВП.	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,5
$z_6$	Доля ГЭС в общей потребляемой мощности.	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,8
$z_8$	Доля мощности наиболее крупной электростанции.	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,6
$Z_1^*$	Средневзвешенное значение $d_i$ по пляеде № 1	0,38	0,49	0,51	0,56	0,56	

Как видим из содержимого табл. 6, значения функции полезности для членов одной пляеды меняются от крайне низкого значения - 0,001 до максимально возможного значения - 1. В этом случае разумно использовать, в качестве значения, характеризующего пляеду, среднее значение частных показателей качества по всем членам пляеды. Поскольку все члены пляеды, в общем случае, имеют различный вес, с точки зрения влияния на энергобезопасность региона, вычислим средневзвешенное значение показателей всем членам пляеды. Соответствующие числовые значения - веса, и средневзвешенные значения, представлены в табл. 6.

Средневзвешенное значение частных показателей качества по пляеде № 1 будем вычислять по формуле (2):

$$d_1^* = (d_1\beta_1 + d_3\beta_3 + d_4\beta_4 + d_5\beta_5 + d_7\beta_7 + d_9\beta_9 + d_{10}\beta_{10} + d_{11}\beta_{11} + d_{12}\beta_{12} + d_{14}\beta_{14} + d_{15}\beta_{15} + d_6\beta_6 + d_8\beta_8) / (\beta_1 + \beta_3 + \beta_4 + \beta_5 + \beta_7 + \beta_9 + \beta_{10} + \beta_{11} + \beta_{12} + \beta_{14} + \beta_{15} + \beta_6 + \beta_8). \quad (2)$$

Анализ содержимого таблицы позволяет выделить индикаторы, принадлежащие пляеде 1, значения которых недопустимо малы, это  $z_7, z_8, z_9, z_{14}, z_{15}$ . Следовательно, чтобы улучшить состояние энергетического комплекса в целом, и энергобезопасности в частности, необходимо принять комплекс мер, которые бы позволили улучшить эти показатели.

Для вычисления обобщенной функции полезности используем формулу (1), которая в нашем случае принимает вид

$$D = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_{16} + \alpha_{13} \sqrt{(d_1^*)^{\alpha_1} d_2^{\alpha_2} d_{16}^{\alpha_{16}} d_{13}^{\alpha_{13}}}. \quad (3)$$

Данные для вычисления сведены в табл. VII.

Таблица VII.

**Данные для вычисления обобщенной функции полезности**

Коды	Описание индикатора	Пляеда	$d_i$					Веса пляед $\alpha_i$
			2008	2009	2010	2011	2012	
$Z_1^*$	Средневзвешенное значение $d_i^*$ по пляеде № 1	1	0,38	0,49	0,51	0,56	0,56	0,6
$z_2$	Доля доминирующего топлива в суммарном количестве топлива.	2	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,8
$z_{16}$	Инвестиции в энергетику.	3	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,5
$z_{13}$	Соотношение стоимости энергоресурсов и среднедушевого дохода.	4	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,7
		$D=$	0,19	0,21	0,21	0,21	0,21	

Таким образом, мы получили значение обобщенной функции полезности, характеризующей состояние энергетической безопасности региона. Вычисленное значение  $D = 0,21$  в 2012 г, позволяет характеризовать энергетическую безопасность региона как кризисную (кризисную критическую). Очевидно, что это следствие, крайне низкого значения индикатора  $z_2$  – «Доля доминирующего топлива в суммарном количестве топлива».

### Заключение

Предложенный нами подход позволяет построить интегральную меру энергетической безопасности региона. Однако его применение диктует необходимость решения ряда частных задач, а именно:

- разработка методики вычисления весовых коэффициентов индикаторов, пледя;
- анализ использованного набора индикаторов, с учетом специфики региона, и возможно, его корректировка.

Представляется целесообразным провести апробацию данного подхода на данных, характеризующих энергетическую безопасность нескольких регионов.

Опираясь на полученный интегральный показатель, мы можем, в дальнейшем, провести имитационное моделирование

изменения состояния энергобезопасности региона при различных внешних воздействиях.

### Литература

- [1] Bushuev V.V., Voropai N.I., Mastepanov A.M. [Energy security of Russia], Energeticheskaia bezopasnosti Rossii – Novosibirsk: Nauka, 1998.-302 p. (in Russian).
- [2] Bicova E.V., Mihailevich A.A., Postolaty V.M. [Metodical approaches to solving of the problem of energy security of Moldova and Belarus] Metodicheskie podhodi k resheniu problemi energeticheskoi bezopasnosti Moldovi I Belorusi. Chisinau, 2010, 100 p. (in Russian).
- [3] Fedorchenko S.G., Fedorchenko G.S., Turturika A.I. [Integral estimation of energy security of PMR] Integralinaia otsenka energeticheskoi bezopasnosti PMR //Economica Pridnestrovia, 2014, N11-12, с. 41-43. (in Russian).
- [4] Fedorchenko S.G., Dolgov Iu.A., Kirsanova A.V. [Generalized function of utility and it's applications]. Obobschennaia functsia poleznosti i ee prilozhenia – Tiraspoli, 2011. -196 p. (in Russian).
- [5] Fedorchenko S.G., Fedorchenko G.S. [Integral measure of evaluation of the status of energy security] Integralinaia mera otsenki energeticheskoi bezopasnosti. Problemele energeticii Regionale, № 1(24) 2014, ISSN 1857-0070.

### Сведения об авторах.



Федорченко Сергей Григорьевич, к.т.н., доц. Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко, г. Тирасполь ([fed\\_tir@mail.ru](mailto:fed_tir@mail.ru)).

Область научных интересов — методы обработки результатов пассивного эксперимента.



Федорченко Григорий Сергеевич - аспирант, Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко, г. Тирасполь.

Область научных интересов — проблемы энергетической безопасности