

INTEGRAL MEASURE OF EVALUATION OF THE STATUS OF ENERGY SECURITY

Fedorchenko S.G., Fedorchenko G.S.
State University of Transnistria, Tiraspol

Abstract. We present a new approach of creation of the integral measure of estimation of energy security using a generalized Harrington-Menchers's function. It is presented an example of the construction of such a measure using real data. A detailed description of the Harrington-Menchers's function is presented. In carrying out this work the analysis of the indicators recommended in the literature as components of energy security is made. It is shown that a significant part of these indicators is closely linked with each other.

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

INDICATORUL INTEGRAL DE ESTIMARE A NIVELULUI SECURITĂȚII ENERGETICE Fedorcenco S.G., Fedorcenco G.S.

Universitatea de Stat din Transnistria, or. Tiraspol

Rezumat. În articol se propune o abordare nouă privind definirea indicatorului integral pentru estimarea securității energetice cu utilizarea funcției generalizate de utilitate Harrington-Mencher. Procedura este ilustrată de faptul efinrii acestui indicator în baza setului de date stocate din mdiul real. Se prezintă o descriere detaliată a funcției Harrington-Mencher. În cadrul investigației realizate s-a executat analiza indicatorilor, care sunt recomandați în sursele bibliografice pentru estimarea nivelului securității energetice. S-a demostat, că mulți dintre acșți indicatori au legături semnificative mutuale.

Cuvinte-cheie: Funcție de utilitate generalizată, corelație, metodă indicativă, securitatea energetică.

ИНТЕГРАЛЬНАЯ МЕРА ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ Федорченко С.Г., Федорченко Г.С.

Приднестровский государственный Университет, г. Тирасполь

Аннотация. В статье предложен новый подход к формированию интегральной меры оценки энергобезопасности с использованием обобщенной функции полезности Харингтона-Менчера. Приведен пример построения такой меры на реальных данных. Приведено подробное описание функции Харингтона-Менчера. В процессе выполнения данной работы проведен анализ показателей, рекомендуемых в литературе для использования при оценке индикаторов различных составляющих энергобезопасности. Показано, что значительная часть этих показателей тесно связана друг с другом.

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 объектов, которые с некоторой точностью измеряются, тем или иным образом, или оцениваются экспертом. Таким образом, мы получаем набор величин, которые имеют различные единицы измерения, зачастую различную степень важности, но все они, по нашему мнению, характеризуют с разных сторон состояние объекта.

Для управления объектом 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.

Рассмотрим возможные подходы к решению этой задачи на примере оценки результатов мониторинга энергетической безопасности [1].

Описание общих принципов индикативного анализа

В основе индикативного анализа является формирование системы индикаторов, отражающих основные процессы в объекте исследования. Такими индикаторами могут быть:

- показатели состояния объекта;
- показатели функционирования объекта;
- показатели перспектив функционирования объекта.

Система индикаторов формируется на основе системного подхода и должна обеспечить:

- управление функционированием объекта;
- управление развитием объекта.

Система индикаторов может иметь подсистемы (блоки) которые в свою очередь также могут содержать некие подблоки и т.п., т.е система индикаторов может иметь иерархическую структуру.

Классификация состояний осуществляется по шкале кризисности, сформированной для каждого индикатора отдельно. Выделяют три состояния [1, с. 20], [2, с. 140]:

- нормальное;
- предкризисное;
- кризисное.

Для числового описания каждого из указанных состояний вводится некая шкала баллов, например:

- нормальное состояние (н) – 1 балл;
- предкризисное состояние (пк) – 2 балла;
- кризисное состояние (к) – 3 балла.

Границы состояний для каждого индикатора задаются отдельно. Пример 3-х бальной шкалы кризисности приведен на рис. 1.

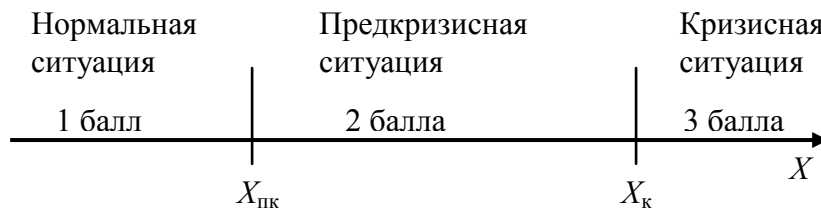


Рис. 1. Пример 3-х бальной шкалы кризисности для индикатора X.

Как видно из рис. 1, необходимо задать границы областей – величины $X_{пк}$ и $X_{к}$, например, с помощью экспертов.

В [1, с. 21] предлагается более детальное построение шкалы кризисности, при котором предкризисная ситуация разбивается на три зоны:

- предкризисное начальное - 2 балла;
- предкризисное развивающееся - 3 балла;
- предкризисное критическое – 4 балла;

а критическая ситуация - на четыре зоны:

- 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. 2.

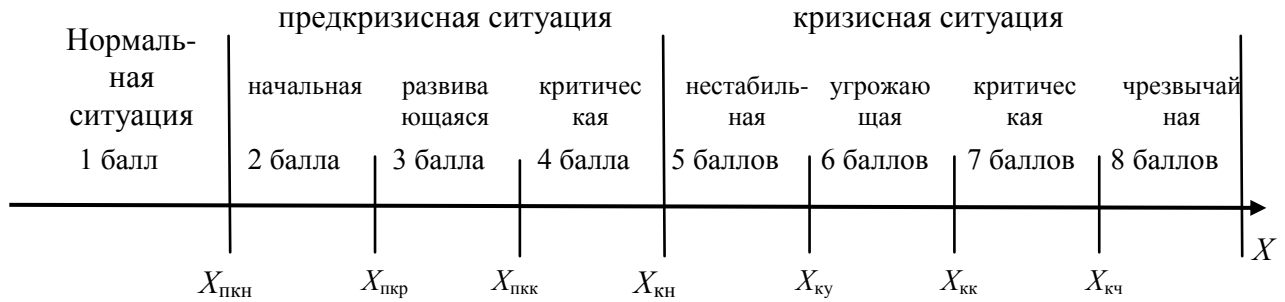


Рис. 2. Пример 8-и балльной шкалы кризисности для индикатора X.

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.

Виды интегральных показателей состояния объекта

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

1. Негативное значение одного индикатора может быть скомпенсировано положительным значением другого, например неравномерность поставок топлива компенсируется имеющимися запасами топлива.
2. Негативное значение одного индикатора сводит на нет все сколь 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 [3, 4].

Данная функция предложена американским ученым Харрингтоном в 1965 году, который назвал ее функцией желательности (*desirability function*), ее еще называют «обобщенной функцией полезности» или «обобщенным критерием эффективности».

В основе построения этой обобщенной функции лежит идея преобразования натуральных значений частных откликов в безразмерную шкалу желательности или предпочтительности. Назначение шкалы желательности – установление соответствия между физическими и психологическими параметрами. Здесь под физическими параметрами понимаются возможные отклики, характеризующие функционирование исследуемого объекта, а под психологическими параметрами понимаются чисто субъективные оценки экспериментатора желательности (предпочтительности) того или

иного значения отклика. Чтобы получить шкалу желательности, удобно пользоваться готовой разработанной таблицей, представленной ниже (табл. 1).

Таблица 1 – 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 (от *desirable* англ. – желательный). Шкала желательности 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 [3, 4].

Шкала Харрингтона является интервальной и относится к «сильным» шкалам, так как имеются определенные расстояния между отдельными числами на шкале.

В табл. 1 представлены числа, соответствующие некоторым точкам кривой, которая задаётся уравнением

$$d = \exp[-\exp(-y)] \quad (1)$$

На оси ординат нанесены значения желательности, изменяющиеся от 0 до 1. По оси абсцисс указаны значения отклика, записанные в условном масштабе. Выбор этой кривой не является единственной возможностью. Однако она возникла в результате наблюдений за реальными решениями экспериментаторов и обладает такими полезными свойствами как непрерывность, монотонность, гладкость.

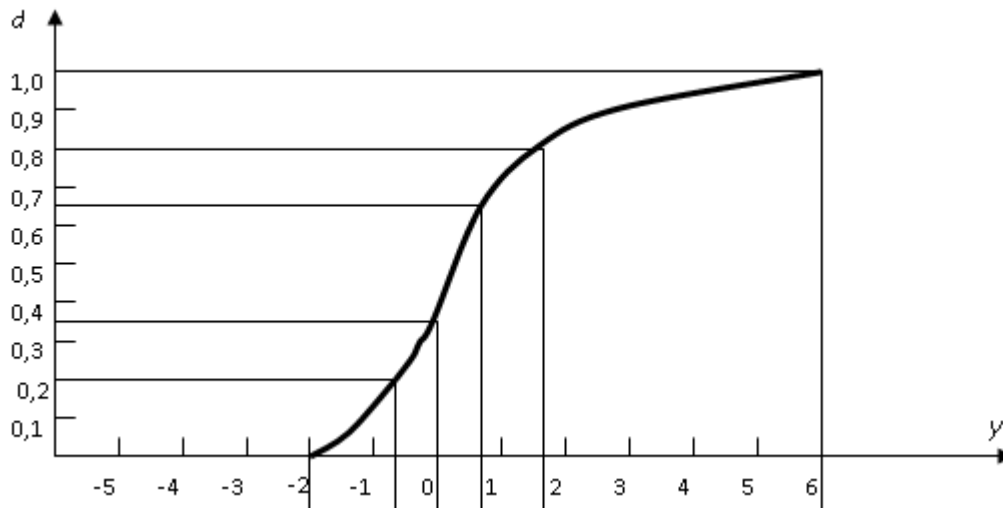


Рис. 3. Шкала и функция желательности Харрингтона

Такая кривая теоретически полностью выполняет функцию перевода откликов в безразмерный параметр, однако при практическом её использовании возникает ряд трудностей [3, 4].

Во-первых, параллельно кодированной шкале y необходимо размещать именованные шкалы откликов Y_1, Y_2, \dots , которые следует калибровать в точках, указанных в таблице 1, и эта калибровка происходит достаточно произвольно. При

этом почти всегда получается неравномерная шкала. Для получения величины d_{1j} необходимо найти точку конкретного числового значения Y_{1j} на шкале Y_1 , а затем снести её на график функции и по оси ординат прочесть соответствующее значение d_{1j} . Естественно, точность такого преобразования будет невелика [4].

Во-вторых, жёсткость формулы (1) не позволяет использовать без дополнительных искажений отклики Y , распределённые по законам, отличным от нормального. Большие затруднения вызывают те отклики, качество которых сначала возрастает по мере возрастания их числовых значений, а затем после некоторой величины (или диапазона величин) начинает убывать [4].

В-третьих, предложенная Харрингтоном в качестве единого комплексного показателя качества продукции обобщённая функция желательности

$$D = \sqrt[m]{\prod_{i=1}^m d_i}, \quad (2)$$

где m – число единичных откликов – сравниваемых показателей качества продукции, обладает тем недостатком, что в ней все отклики признаются равновесными, хотя на практике это далеко не так.

Для устранения этих недостатков профессор Э.М. Менчер [3], предложил чисто аналитическую методику расчёта обобщённой функции желательности (показателя качества) с учётом всех перечисленных выше недостатков. Расчёт ведётся в два этапа.

На первом этапе определяются единичные значения функции d_i ($i=1, 2, \dots, m$) для каждого из откликов, каждый из них должен представлять непрерывную монотонную функцию. Для случая возрастания качества с возрастанием числовых значений отклика предложены 3 типа зависимостей (типы 1, 2 и 3 на рис. 4), а для случая убывания качества с возрастанием числовых значений отклика предложены ещё три типа зависимостей (типы 4, 5 и 6 на рис. 5.). При этом во всех случаях в качестве аргумента выступает отклик Y в своём натуральном виде – так, как он измерялся в ходе эксперимента, – большое достоинство для метода расчёта [4].

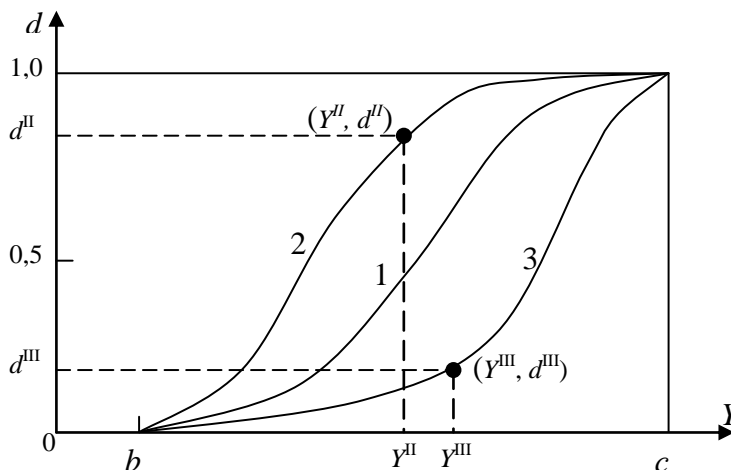


Рис. 4. Графики функций желательности трёх возрастающих типов

Рассмотрим три типа возрастающих кривых [3]. Для них необходимо знать начало b и конец c физического (или допустимого) значения отклика Y , то есть:

$$d = \begin{cases} 0, & \text{если } Y < b; \\ d, & \text{если } b \leq Y \leq c; \\ 1, & \text{если } Y > c. \end{cases} \quad (3)$$

В этом случае кривая *типа 1* является S-образной, возрастающей, симметричной и описывает качество отклика Y , если распределение Y не является резко асимметричным, по формуле

$$d = \exp \left\{ -\exp \left\{ -\left[9 \left(\frac{Y-b}{c-b} \right)^{1,927} - 2 \right] \right\} \right\}. \quad (4)$$

Кривая *типа 2* является S-образной, возрастающей, асимметричной с быстрым начальным возрастанием и рассчитывается по формуле

$$d = \exp \left\{ -\exp \left\{ -\left[9 \left(\frac{Y-b}{c-b} \right)^{a''} - 2 \right] \right\} \right\}, \quad (5)$$

где показатель степени a'' определяет скорость возрастания функции d . Для его расчёта необходимо знать хотя бы одну точку (Y'', d'') на искомом графике. Тогда величину a'' можно подсчитать по формуле

$$a'' = \frac{\ln \left(2 - \ln \ln \frac{1}{d''} \right)}{\ln(Y'' - b) - \ln(c - b)}. \quad (6)$$

Аналогично, кривая *типа 3* является S-образной, возрастающей, асимметричной с медленным начальным возрастанием и рассчитывается по формуле

$$d = 1 - \exp \left\{ -\exp \left\{ -\left[9 \left(\frac{\tilde{n}-Y}{c-b} \right)^{a'''} - 2 \right] \right\} \right\}, \quad (7)$$

где показатель степени a''' можно найти по единственной точке (Y''', d''') по формуле

$$a''' = \frac{\ln \left(2 - \ln \ln \frac{1}{1-d'''} \right) - \ln 9}{\ln(c - Y''') - \ln(c - b)}. \quad (8)$$

Рассмотрим три типа убывающих кривых [3]. Для их построения необходимо знать начало e и конец f физического (или допустимого) значения отклика Y , то есть:

$$d = \begin{cases} 1, & \text{если } Y < e; \\ d, & \text{если } e \leq Y \leq f; \\ 0, & \text{если } Y > f. \end{cases} \quad (9)$$

Кривая типа 4 является S-образной, убывающей, симметричной, представляет собой зеркальный вариант кривой типа 1, и описывается формулой

$$d = \exp \left\{ -\exp \left\{ -\left[9 \left(\frac{f-Y}{f-e} \right)^{1,927} - 2 \right] \right\} \right\}. \quad (10)$$

Кривая типа 5 является S-образной, убывающей, асимметричной, с быстрым начальным убыванием, представляет собой зеркальный вариант кривой типа 3, и описывается формулой

$$d = 1 - \exp \left\{ -\exp \left\{ -\left[9 \left(\frac{Y-e}{f-e} \right)^{a^v} - 2 \right] \right\} \right\}. \quad (11)$$

Здесь показатель степени a^v определяет скорость убывания функции d . Для расчёта необходимо знать хотя бы одну точку $(Y^v; d^v)$ на искомом графике. Тогда величину a^v можно подсчитать по формуле

$$a^v = \frac{\ln \left(2 - \ln \ln \frac{1}{1-d^v} \right) - \ln 9}{\ln(Y^v - e) - \ln(f - e)}. \quad (12)$$

Аналогично, *кривая типа 6* является S-образной, убывающей, асимметричной, с медленным начальным убыванием, представляет собой зеркальный вариант кривой типа 2, и описывается формулой

$$d = \exp \left\{ -\exp \left\{ -\left[9 \left(\frac{f-Y}{f-e} \right)^{a^{vi}} - 2 \right] \right\} \right\}, \quad (13)$$

где показатель степени a^{vi} можно найти по единственной точке $(Y^{vi}; d^{vi})$ по формуле

$$a^{vi} = \frac{\ln \left(2 - \ln \ln \frac{1}{1-d^{vi}} \right) - \ln 9}{\ln(f - Y^{vi}) - \ln(f - e)}. \quad (14)$$

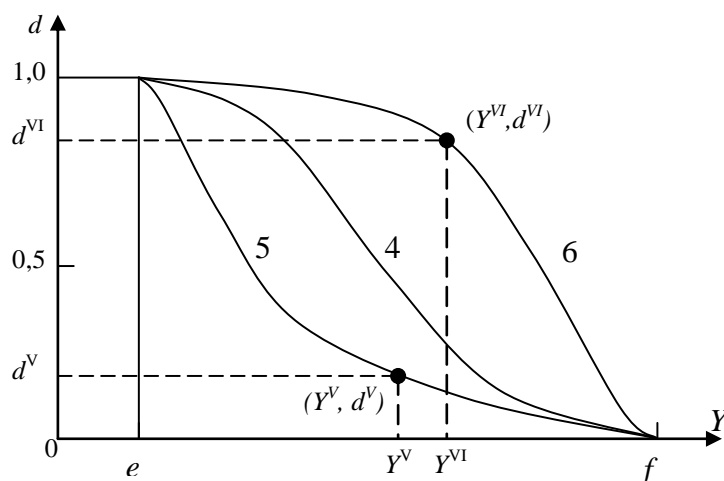


Рис. 5. Графики функций желательности трёх убывающих типов

Используя сочетания вышеперечисленных кривых, мы можем моделировать функции отклика, имеющие колоколообразный характер, симметричные, асимметричные, имеющие плато и без них (рис. 4). В этом случае оценка ведётся по каждой ветви комбинированной функции отдельно [3, 4].

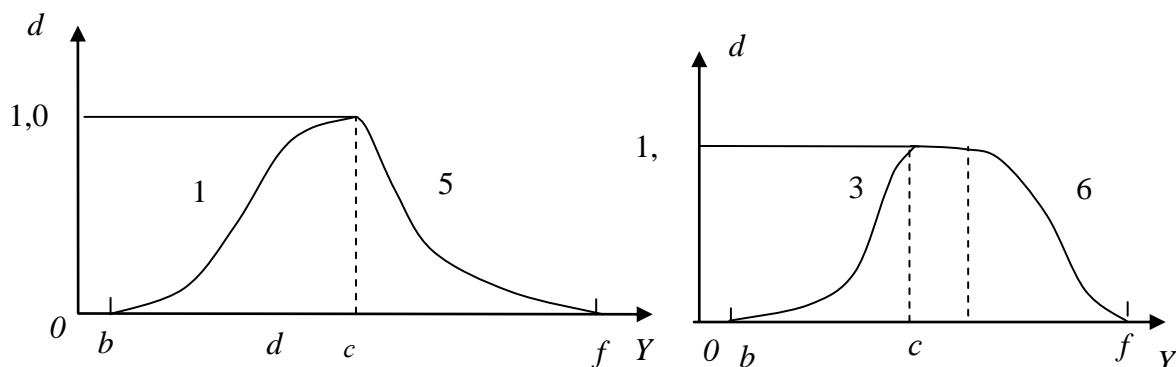


Рис. 6. Примеры комбинированных функций безразмерной оценки качества продукции по единому показателю

После определения величины d_i частных показателей качества всех $i=1, 2, \dots, m$ откликов можно переходить ко второму этапу расчётов – определению обобщённой функции качества (полезности, желательности) D . Для нахождения значения D необходимо предварительно определить значения веса α_i для каждого частного показателя d_i . Как правило, веса находятся одним из экспертных методов (если нет нормативно заданных приоритетов). При этом наиболее важному отклику (или нескольким откликам) присваивается вес, равный единице, и далее с убыванием. Практика показала [4], что хотя теоретически веса могут быть любыми в диапазоне $0 < \alpha_i \leq 1$, но эффективнее всего метод срабатывает при назначении весов в диапазоне $0,4 \leq \alpha_i \leq 1,0$, при этом градация их должна быть не чаще 0,1, то есть в порядке убывания 1,0; 0,9; 0,8; 0,7; 0,6; 0,5 и 0,4.

Обобщённая функция желательности может быть найдена по формуле

$$D = \sum_{i=1}^m \alpha_i \sqrt[m]{\prod_{i=1}^m d_i^{\alpha_i}}, \quad (15)$$

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

При использовании обобщенной функции полезности необходимо удовлетворить требованию - среди частных откликов не должно быть коррелированных между собой (в крайнем случае, допускается с оговорками пренебрежимо слабая корреляция). Для решения этой задачи рекомендуется использовать метод корреляционных плеяд [3, 4].

Построение мультипликативного интегрального показателя состояния объекта на примере задачи энергетической безопасности

Представим уровни энергетической безопасности, представленные на рис. 2 в виде табл. 2 и попытаемся состыковать их со значениями функции полезности, представленными в табл. 1. Результат представлен в табл. 3.

Таблица 2. – Состояния (уровни) энергетической безопасности

№ п/п	Название состояния	Кол-во баллов	Ситуация
1	Нормальное	1	Нормальная
2	Предкризисное начальное	2	Предкризисная
3	Предкризисное развивающееся	3	
4	Предкризисное критическое	4	
5	Кризисное нестабильное	5	Кризисная
6	Кризисное угрожающее	6	
7	Кризисное критическое	7	
8	Кризисное чрезвычайное	8	

Таблица 3. – 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
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

Прокомментируем это разбиение области существования d - функции:

- 1) нормальное состояние, совершенно очевидно соответствует значениям d - функции 1-0,63 («очень хорошо» и «хорошо»);
- 2) разобьем половину интервала 0,63-0,37 («удовлетворительно») на две равные части, первую из которых (0,63-0,5) отнесем к состоянию «предкризисное начальное»;
- 3) вторую половину интервала 0,63-0,37 (0,5-0,37) разделим еще на две равные части 0,5-0,44 и 0,44-0,37 которые отнесем к состояниям «Предкризисное развивающееся» и «Предкризисное критическое», соответственно;
- 4) область значений d -функции 0,37-0,2 («плохо») разделим на три равные области 0,37-0,31; 0,31-0,26; 0,26-0,2, которые отнесем к состояниям «Кризисное

нестабильное», «Кризисное угрожающее» и «Кризисное критическое», соответственно;

- 5) область значений d -функции 0,2-0 («очень плохо») отнесем к состоянию «Кризисное чрезвычайное».

Таким образом, алгоритм формирования интегрального показателя уровня энергетической безопасности выглядит следующим образом:

1. Формируется список показателей, характеризующих энергетическую безопасность.
2. Полученный список разбивается на группы, в каждой группе присутствуют показатели, значения которых взаимно компенсируют друг с друга (как со знаком плюс, так и со знаком минус) – для каждой группы формируется свой аддитивный интегральный показатель (среднее или средневзвешенное значение); ряд групп состоит из одного показателя, для них интегральный показатель не формируется.
3. С учетом п.2 формируется новый список показателей, куда вместо ряда групп показателей включается их интегральный аддитивный показатель.
4. Для показателей из нового списка необходимо сформировать интегральный мультипликативный показатель, с этой целью:
 - с помощью метода корреляционных плеяд формируют список независимых показателей;
 - по всему перечню независимых показателей формируют весовые коэффициенты;
 - определяют по каждому независимому показателю границы уровней энергетической безопасности;
 - вычисляют значения частных функций полезности;
 - вычисляют значение обобщенной функции полезности.

Формирование интегральной оценки состояния энергетической безопасности

Рассмотрим пример реализации вышеизложенного алгоритма, используя данные, приведенные в [1].

Для построения мультипликативного интегрального показателя энергобезопасности необходимо удовлетворить требованию о том, что все факторы должны быть независимыми. Для проверки этого требования построим корреляционную матрицу (вычислим коэффициенты корреляции между всеми парными комбинациями факторов) и построим граф корреляционных плеяд, представленный на рис. 7. Для построения корреляционной матрицы были использованы данные, заимствованные из [1], представляющие собой значения вышеуказанных факторов за 13 лет. Для объема парной выборки равного 13 граница значимости коэффициента корреляции будет равна 0,56. Ниже этого значения мы не можем отличить истинное значение коэффициента корреляции от нуля.

Как видно из графа корреляционных плеяд (рис. 7) и списка факторов, разбитых по плеядам (табл. 5) общий список факторов разбивается на несколько групп (плеяд). Внутри каждой плеяды факторы тесно связаны между собой (в нашем случае величина коэффициента корреляции внутри каждой плеяды больше 0,56), связями между плеядами можно пренебречь.

Особенно много факторов сконцентрированы в первой плеяде, где оказалось 25 факторов, принадлежащих к блокам № 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, причем ряд факторов (X26, X33, X32, X76, X77, X78, X15, X13, X14, X16, X62, X22, X52, X01) характеризуются очень сильной связью (коэффициент корреляции $r > 0.9$) то есть, связаны взаимно-однозначно

PROBLEMELE ENERGETICII REGIONALE 1(24)2014
ELECTROENERGETICĂ

Таблица 4. Перечень факторов, характеризующих состояние энергобезопасности
с разбивкой на блоки

Обозначение фактора	Название фактора
№ 1а. Блок топливообеспечения	
X01	Обеспеченность собственными топливными ресурсами по отношению к потребностям
X02	Обеспеченность топливом для производства тепло- и электроэнергии
X03	Обеспеченность топливом в коммунально-бытовом секторе
№ 1б. Блок топливопотребления	
X11	Уровень суммарного потребления топлива
X12	Доля доминирующего вида топлива в общей структуре
X13	Индикатор доли потребленного топлива для производства электро- и тепловой энергии в суммарном количестве потребленного топлива
X14	Индикатор удельного расхода топлива на производство электроэнергии
X15	Индикатор удельных расходов топлива на выработку тепловой энергии
X16	Индикатор доли потребленного топлива коммунально-бытовым сектором в общем суммарном потреблении топлива
№ 2. Блок производства электро- и тепловой энергии	
X21	Выработка электроэнергии
X22	Выработка тепловой энергии
X23	Доля собственных источников в покрытии баланса
X24	Доля маневренных мощностей (ГЭС) в общей установленной электрической мощности
X25	Доля блок-станций в общей установленной электрической мощности
X26	Доля мощности наиболее крупной электростанции в общей установленной электрической мощности
№ 3. Блок передачи и распределения электроэнергии	
X31	Уровень износа подстанций
X32	Уровень износа выключателей
X33	Уровень износа трансформаторов
X34	Обеспеченность трансформаторной мощностью на 1 кв. км территории страны, МВА/кв.км.
X35	Плотность электрических сетей на 1 кв. км. территории страны с учетом их длины и пропускной способности
№ 4. Блок импорта электроэнергии	
X41	Уровень резерва по межсистемным связям
X43	Доля импортируемой электроэнергии в общей потребляемой электроэнергии
№ 5. Блок экологический	
X51	Выбросы CO ₂ на единицу сожженного топлива
X52	Выбросы CO ₂ на душу населения
№ 6. Блок потребителей	
X61	Потребление электроэнергии
X62	Потребление тепловой энергии
X63	Доля среднедушевого дохода населения, затраченного на оплату энергоресурсов
№ 7. Блок экономический	
X75	Тариф на электроэнергию
X76	Тариф на тепловую энергию
X77	Тариф на природный газ
X78	Энергоемкость ВВП
X79	Электроемкость ВВП
№ 8. Блок инвестиций	
X81	Доля мощности вводимых объектов в общей установленной мощности
X82	Объем годовых инвестиций в ТЭК

PROBLEMELE ENERGETICII REGIONALE 1(24)2014
ELECTROENERGETICĂ

Таблица 5. Список факторов с разбивкой по плеядам
Плеяда 1

X01	Обеспеченность собственными топливными ресурсами по отношению к потребностям
X02	Обеспеченность топливом для производства тепло- и электроэнергии
X11	Уровень суммарного потребления топлива
X12	Доля доминирующего вида топлива в общей структуре
X13	Индикатор доли потребленного топлива для производства электро- и теплоэнергии в суммарном количестве потребленного топлива
X14	Индикатор удельного расхода топлива на производство электроэнергии
X15	Индикатор удельных расходов топлива на выработку теплоэнергии
X16	Индикатор доли потребленного топлива коммунально-бытовым сектором в общем суммарном потреблении топлива
X22	Выработка тепловой энергии
X23	Доля собственных источников в покрытии баланса
X25	Доля блок–станций в общей установленной электрической мощности
X26	Доля мощности наиболее крупной электростанции в общей установленной электрической мощности
X31	Уровень износа подстанций
X32	Уровень износа выключателей
X33	Уровень износа трансформаторов
X35	Плотность электрических сетей на 1 кв. км. территории страны с учетом их длины и пропускной способности
X41	Уровень резерва по межсистемным связям
X52	Выбросы CO ₂ на душу населения
X62	Потребление тепловой энергии
X63	Доля среднедушевого дохода населения, затраченного на оплату энергоресурсов
X75	Тариф на электроэнергию
X76	Тариф на тепловую энергию
X77	Тариф на природный газ
X78	Энергоемкость ВВП
X79	Электроемкость ВВП
Плеяда 2	
X43	Доля импортируемой электроэнергии в общей потребляемой электроэнергии
Плеяда 3	
X51	Выбросы CO ₂ на единицу сожженного топлива
Плеяда 4	
X61	Потребление электроэнергии
Плеяда 5	
X03	Обеспеченность топливом в коммунально-бытовом секторе
X81	Доля мощности вводимых объектов в общей установленной мощности
Плеяда 6	
X34	Обеспеченность трансформаторной мощностью на 1 кв. км территории страны, МВА/кв.км.
Плеяда 7	
X21	Выработка электроэнергии
Плеяда 8	
X82	Объем годовых инвестиций в ТЭК
Плеяда 9	
X24	Доля маневренных мощностей (ГЭС) в общей установленной электрической мощности

V плеяда содержит 2 фактора – X81, X03, в остальных 7 плеядах - по одному фактору. Таким образом, вместо 25 факторов, принадлежащих плеяде номер 1 можно использовать один фактор-представитель плеяды, например фактор X79 (электроемкость ВВП), а остальные факторы, попавшие в эту плеяду, не рассматривать.

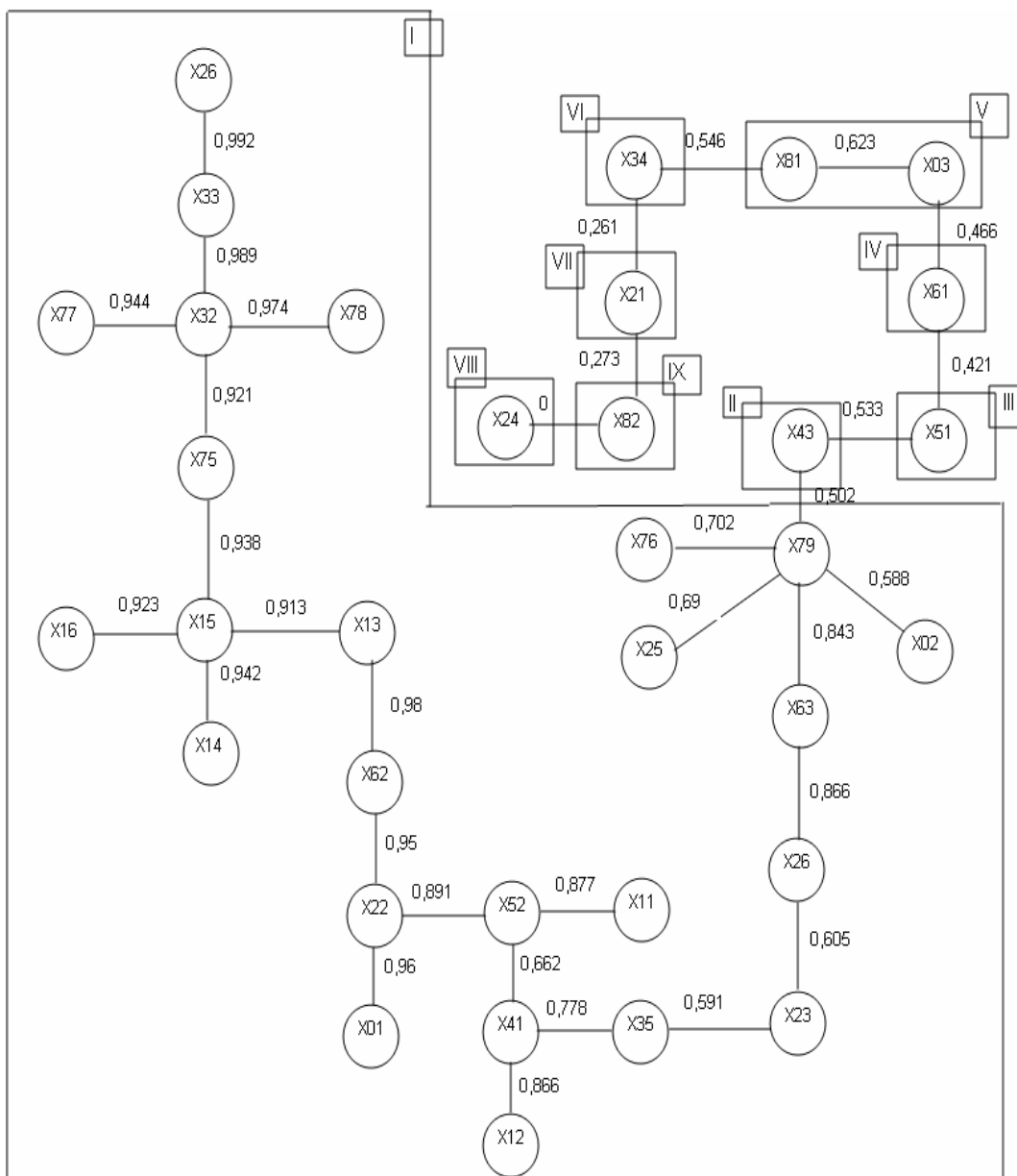


Рис. 7. – Граф корреляционных плеяд.

Общий список из 40 факторов может быть уменьшен до представителей каждой плеяды, всего 9 факторов, а именно: X79, X43, X51, X61, X03, X34, X21, X82, X24. Мы получили список факторов, взаимные связи между которыми можно признать незначимыми, а, следовательно, опираясь на них, мы можем сформировать интегральную меру энергобезопасности.

Рассмотрим процесс перехода от именованной величины к значению частной функции полезности d_{03} для фактора X03 (обеспеченность топливом в коммунально-бытовом секторе).

Для вычисления значения индикатора воспользуемся формулой, заимствованной из [1]:

$$X03 = T_{\text{собств ком-быт}} / T_{\text{потребляемое ком-быт}} * 100 \% \quad (16)$$

Выберем 2-й тип кривой, и используем для расчетов d_{03} формулы (5, 6).
Результаты вычислений представлены в табл. 6, 7.

Таблица 6. Данные для расчета значения d_{03}

Пороговые значения			значение показателя степени a^{II}
базовое	предкризисное	кризисное	
100%	70%	50%	1.638344

Результаты расчетов для остальных факторов сведены в табл. 7.

Таблица 7. – Результаты расчета значений частных функций полезности для различных индикаторов за 1995-2007 гг.

год	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
X03	11%	11%	11%	12%	13%	14%	10%	12%	10%	10%	10%	14%	15%
d_{03}	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
X21	100%	93%	111%	116%	139%	123%	78%	108%	101%	90%	87%	96%	94%
d_{21}	0,999	0,995	1	1	1	1	0,805	1,000	1,000	0,986	0,975	0,998	0,995
X24	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%
d_{24}	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
X34	100%	97%	94%	86%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
d_{34}	0,999	0,989	0,917	0,025	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999
X43	15%	53%	42%	51%	51%	42%	53%	20%	28%	49%	53%	43%	74%
d_{43}	0,952	0,010	0,009	0,010	0,010	0,009	0,010	0,861	0,492	0,001	0,010	0,006	0,010
X51	100%	100%	100%	100%	100%	89%	83%	83%	89%	89%	89%	89%	89%
d_{51}	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
X61	100%	95%	94%	86%	94%	95%	84%	85%	87%	89%	86%	92%	97%
d_{61}	0,999	0,996	0,995	0,971	0,996	0,996	0,953	0,963	0,977	0,985	0,971	0,993	0,998
X79	2,63	2,21	1,82	2,21	2,31	3,23	2,62	2,11	1,8	1,33	1,23	1,15	
d_{79}	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,001	0,651	0,906	0,977	
X82	18%	23%	27%	22%	22%	15%	27%	18%	19%	37%	41%	61%	0%
d_{82}	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,005	0,010

Анализируя табл. 7, мы видим, что значения большей части представленных в ней индикаторов стабильны (стабильно низкие или стабильно высокие), существенно изменяются только значения индикаторов X34, X43, X79 – именно они будут вызывать изменения величины интегрального показателя.

Для вычисления интегрального показателя качества нам необходимо знать весовые коэффициенты для каждого индикатора, представленного в табл. 7. После опроса специалистов, нами были получены значения весов, представленные в табл. 8.

Результаты, полученные при вычислении интегрального показателя уровня энергобезопасности, представлены в табл. 9.

Таблица 8. – Значения весов для индикаторов из табл. 7

№ п/п	Индикато	Смысл индикатора	Вес
-------	----------	------------------	-----

	p		
1	X03	Обеспеченность топливом в коммунально-бытовом секторе	0,6
2	X21	Выработка электроэнергии	0,9
3	X24	Доля маневренных мощностей (ГЭС) в общей установленной электрической мощности	0,2
4	X34	Обеспеченность трансформаторной мощностью на 1 кв. км территории страны, МВА/кв.км.	0,8
5	X43	Доля импортируемой электроэнергии в общей потребляемой электроэнергии	0,6
6	X51	Выбросы CO2 на единицу сожженного топлива	0,1
7	X61	Потребление электроэнергии	0,9
8	X79	Электроемкость ВВП	0,8
9	X82	Объем годовых инвестиций в ТЭК	0,7

Таблица 9. Значения интегрального показателя энергобезопасности по годам

d_i	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
d03	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
d21	0,999	0,995	1,000	1,000	1,000	1,000	0,805	1,000	1,000	0,986	0,975	0,998	0,995
d24	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
d34	0,999	0,989	0,917	0,025	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999
d43	0,952	0,010	0,009	0,010	0,010	0,009	0,010	0,861	0,492	0,001	0,010	0,006	0,010
d51	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
d61	0,999	0,996	0,995	0,971	0,996	0,996	0,953	0,963	0,977	0,985	0,971	0,993	0,998
d79	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,001	0,651	0,906	0,977	<u>0,910</u>
d82	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,005	0,010
D	0,151	0,151	0,151	0,150	0,151	0,151	0,145	0,150	0,101	0,273	0,285	0,265	0,287

Как видно из представленных расчетов, уровень энергобезопасности, за рассматриваемые годы, изменяется от состояния «очень плохо» в 1995-2003 гг, достигая своего минимального значения в 2003 г., до «плохо», достигая своего максимального значения в 2007 г.

Заключение

Представленная методика позволяет:

- сформировать интегральный показатель энергобезопасности государства, региона и т.п.;
- в процессе реализации данной методики необходимо строить список индикаторов, значения которых слабо зависят друг от друга;
- данный список, по нашему мнению не является стабильным, следовательно, его необходимо регулярно обновлять;
- получаемое в результате расчетов значение интегрального показателя зависит от использованных весовых коэффициентов, следовательно, необходимо очень тщательно отнестись к их формированию.

Литература

- [1] Metodicheskie podhody k resheniu problemy energeticheskoi bezopasnosti Moldovy i Belorusi / Bycova E.V., Mihailevich A.A., Postolaty V.M. i dr.; Acad.nauk Moldovy, Inst.Energ., Nats. Acad. Nauk Belorusi i dr. – K.:B. I., 2010 (Tipogr. ASM). – 100 p. (in Russian)
- [2] V. V. Bushuev, N. I. Voropay, A.M. Mastepanov, Iu. K. Shafranik i dr. Energeticheskaja bezopasnost' Rosii. Novosibirsk: Nauka. Sibirskaia Izdatel'skaia firma RAN, 1998, 302 s. (in Russian)
- [3] Oboschenaia funktsia poleznosti i ee prilozhenia. /Avt.: S.G. Fedorchenco, Iu.A.. Dolgov, A.V. Kirsanova, E.M. Mencher, S.V. Pomean, M.V. Nijegorodova, E.I. Andrianova, N.V. Koloskova, A.V. Kolegov, A.M. Bashkatov. /Pod red. S.G. Fedorchenco. – Tiraspoli: Izd. Pridnestr. universiteta, 2011. – 196с. – (v obl.) ISBN 978-9975-4062-3-9/ (in Russian)
- [4] Dolgov Iu.A. Statisticheskoe modelirovanie. – Tiraspoli: RIO PGU, 2002. – 280с. (in Russian)

Сведения об авторах.



Федорченко Сергей Григорьевич, к.т.н., доц. Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко, г. Тирасполь (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.