

# МЕТОД СКАЛЯРИЗАЦИИ И АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ИНДИКАТОРОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА КРИЗИСНОСТЬ СИТУАЦИИ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ МОЛДОВЫ

Е.В. Быкова, Институт Энергетики АН РМ,  
2028, Молдова, Кишинев, ул.Академическая,5,  
тел.(3432) 727040, 735388, E-mail: vpost @ asm.md

*Выполнено исследование влияния индикаторов энергетической безопасности на кризисность ситуации. В качестве объекта исследования выбрана энергетическая система Молдовы. На основе проведенного анализа сформулированы мероприятия по обеспечению энергетической безопасности.*

*The research of influence of indicators devices of energy security on a situation of crisis was carried out. The power system of Moldova was chosen as object of the research. The measures on energy security are formulated on the base of the lead assaying.*

*Ключевые слова: энергетическая безопасность, индикаторы, кризисность состояния*  
*Key words: energy security, indicators, situation of crisis*

В последние годы в Институте энергетики АН Республики Молдова проводятся исследования в области энергетической безопасности.

Под *энергетической безопасностью* понимают состояние защищенности страны (региона), ее граждан, общества, государства и экономики от угрозы дефицита в обеспечении потребностей в энергии экономически доступными топливно-энергетическими ресурсами (ТЭР) приемлемого качества в нормальных условиях и в чрезвычайных обстоятельствах, а также от угрозы нарушения стабильности топливо- и энергоснабжения [1-2].

Для проведения исследований по энергетической безопасности РМ на базе индикативного анализа сформирована система из 24 индикаторов ( $X_{ij}$ ), сгруппированных по 7 блокам, отражающим процесс энергоснабжения потребителей. Выполненные расчеты и их анализ показал, что молдавская энергосистема к 2000 г оказалась на границе перехода в кризисное состояние [4-5]. Для формирования мероприятий по обеспечению энергетической безопасности необходимо выявление индикаторов, вносящих наибольший вклад в кризисность ситуации. Результаты анализа этой проблемы отражены в данной статье.

При оценке ситуации в блоке, в котором имеются несколько индикаторов, необходимо определить степень влияния каждого индикатора на ситуацию по блоку. Для этого определяются веса индикаторов  $w_i$  и вычисляется суммарная и средневзвешенная нормализованная оценка по блоку ( $C_{св k}$ ). Ее расчет производится согласно [2] с помощью формулы:

$$C_{св k} = \frac{1}{N_k} \sum_{i=1}^{N_k} w_i \cdot x_i^H, \quad (1)$$

где  $w_i$  - вес индикатора  $i$  в  $k$ -том блоке;  
 $x_i^H$  -индикатор  $i$  в нормализованном виде.

Вес  $w_i$  определяется как среднее арифметическое значение весовых коэффициентов  $w_{ir}$ , найденных по степени значимости  $C_{ir}$  каждого индикатора. Степень значимости  $C_{ir}$  определяется экспертным путем с привлечением  $ч$  экспертов ( $r = 1, 2 \dots R$ ) по формуле [2]:

$$C_{ir} = 1 - \frac{R_{ir} - 1}{N}, \quad (2)$$

где  $R_{ir}$  – ранг индикатора (его место по значимости);

$N$  - число индикаторов в блоке.

Весовые коэффициенты  $v_{ir}$  вычисляются по формуле,[2]:

$$v_{ir} = \frac{C_{ir}}{\sum_{i=r}^R C_{ir}}. \quad (3)$$

Вес индикатора  $v_i$  рассчитывается на основании найденных весовых коэффициентов по следующему выражению:

$$v_i = \frac{1}{R} \sum_{i=1}^R v_{ir}. \quad (4)$$

Таким образом, нахождение средневзвешенного значения по блоку сводится к вычислению по следующему алгоритму:

1. Определение  $R$  экспертами ранга  $R_{ir}$  каждого индикатора  $i$  в блоке  $k$  из полного числа индикаторов  $m$ ;
2. Определение значимости  $C_{ir}$  каждого индикатора  $i$  в блоке  $k$ ;
3. Вычисление веса индикатора  $v_i$  как среднего весовых коэффициентов;
4. Определение взвешенной нормализованной оценки каждого индикатора путем умножения его нормализованного значения на вычисленное значение веса  $v_i$  по формуле::

$$C_{v_i} = v_i \cdot X_i \quad (5)$$

5. Определение суммарной взвешенной нормализованной оценки  $C_{sv_k}$  блока  $k$  Суммарная взвешенная оценка вычисляется как сумма взвешенных оценок для каждого года.

Уровень влияния каждого индикатора на ситуацию в блоке определяется так : чем больше взвешенная нормализованная оценка, тем больше влияет данный индикатор на кризисность ситуации. Фрагмент расчетной таблицы Excel приведен в таблице 1. При расчетах использованы нормализованные значения индикаторов, найденные при применении экспертных пороговых значений для регионов – Правобережья, Левобережья и всей энергосистемы в целом.

Данный метод [2] показывает степень влияния каждого индикатора на ситуацию в блоке и определяет наиболее «важные» индикаторы, требующие немедленного реагирования на их негативные изменения.

**Блок № 1.** Для **Правобережья** влияние индикатора потребления топлива на душу населения ( $X_{11}$ ) на ситуацию в блоке снизилось за исследуемый период с 0,77 до 0,30 о.е. Возросла степень влияния второго индикатора в блоке ( $X_{12}$  – доля преобладающего вида топлива) с 0,313 до 0,632. Для **Левобережья** снижение влияния индикатора  $X_{11}$  произошло еще в большей степени с 2,72 о.е. до 0,70 о.е., а рост влияния  $X_{12}$  осуществился в интервале 0,22 ÷ 0,637 о.е. Для **Молдовы** влияние  $X_{11}$  на ситуацию в блоке уменьшилось более чем в 2 раза (1,11 до 0,367), а влияние  $X_{12}$  возросло также более чем в 2 раза (с 0,27 до 0,633). Иллюстрация для Молдовы в целом приведена на рис.1.а в о.е. и на рис. 1.б- в нормированном виде.

Анализ нормированной диаграммы показывает, что в процентном отношении изменение влияния индикаторов данного блока следующее: роль индикатора  $X_{11}$  снизилась с 80% до 40%, а влияние  $X_{12}$  возросло с 20% до 60%. Это означает, что кризисность по данному блоку в большей степени возникает по « вине» индикатора  $X_{12}$  (доля преобладающего вида топлива в общей структуре топлива). Отсюда вытекает, что первейшим мероприятием по обеспечению энергетической безопасности является изменение структуры топлива , иными словами, доля потребления природного газа является слишком большой по сравнению с другими видами топлива, что может привести (при перебое подачи газа) к нарушению энергетической безопасности всей энергосистемы, а , следовательно, государства.

*Взвешенные нормализованные оценки индикаторов блока топливообеспечения(№1)  
с использованием экспертных пороговых значений индикаторов*

*Таблица 1*

Регион	Индикатор	Ранг			Значимость			Весовые коэффициенты			Вес Индикатора	1990		1991	
		R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	C <sub>i-1</sub>	C <sub>i-2</sub>	C <sub>i-3</sub>	b <sub>i-1</sub>	b <sub>i-2</sub>	b <sub>i3</sub>		b <sub>i</sub>	Значение в нормализованном виде	Взвешенная Нормализованная оценка	Значение в нормализованном виде
Правобережье	X <sub>11</sub>	1	1	2	1	1	0,5	0,67	0,67	0,33	0,55	1,396	<b>0,775</b>	1,226	<b>0,6811</b>
	X <sub>12</sub>	2	2	1	0,5	0,5	1	0,33	0,33	0,67	0,44	0,705	<b>0,313</b>	0,627	<b>0,367</b>
Суммарная взвешенная оценка													<b>1,0889</b>		<b>1,048</b>

**Блок № 2.** В этом блоке 7 индикаторов. Из них три – X<sub>24</sub>, X<sub>25</sub>, X<sub>26</sub> (индикаторы, описывающие структуру источников ) остаются неизменными в течение исследуемого периода. Поэтому их влияние на изменение ситуации в блоке отсутствует (для всех регионов). Остальные индикаторы изменялись следующим образом :

1) Правобережье: Влияние X<sub>21</sub> (индикатор выработки электроэнергии на душу населения) снизилось в 2 раза (с 0,06 до 0,03); влияние X<sub>22</sub> (выработка теплотенергии на душу населения) снизилось с 0,34 до 0,15 о.е.; влияние X<sub>23</sub> (доля выработки энергии собственными источниками) сохранилось примерно на одном уровне (о.64 – 0,63); влияние X<sub>27</sub> (уровень резерва установленной мощности) возросло с 0,076 до 0,085.

2) Левобережье: Снижение влияния индикатора X<sub>21</sub> произошло почти в 5 раз (с 2,35 до 0,58); индикатор X<sub>22</sub> сохранился на одном уровне; влияние индикатора X<sub>23</sub> снизилось более чем в 2 раза (с 0,67 до 0,30), влияние индикатора X<sub>27</sub> возросло также в 2 раза (с 0,68 до 1,23).

3) Молдова. Влияние индикатора X<sub>21</sub> снизилось более чем в 3 раза (с 0,45 до 0,12); индикатора X<sub>22</sub> уменьшилось с 0,29 до 0,14 о.е.; индикатора X<sub>23</sub> снизилось (с 0,33 до 0,14 о.е.); индикатора X<sub>27</sub> возросло с 0,30 до 0,42 о.е.(рис..2.).

**Блок № 3.** По всем индикаторам данного блока наблюдается рост влияния на кризисность ситуации в блоке. Суммарное влияние блока в общей ситуации по регионам также значительно возрастает за исследуемый период : по Левобережью – с 0,08 до 0,176 о.е.; по Правобережью – с 0,03 до 0,249 о.е.; по Молдове – с 0,04 до 0,226 о.е. В данном блоке два индикатора являются зависимыми – X<sub>32</sub> и X<sub>33</sub> . Их влияние на создание кризисной ситуации в блоке примерно одинаково, что видно из рис.3.

**Блок № 4. Правобережье:** Влияние индикатора X<sub>41</sub> – уровня резерва по межсистемным связям за исследуемый период в значительной степени не изменилось (0,61-0,68 о.е). Влияние X<sub>42</sub> – уровня резерва в энергосистеме – возросло с 0,187 до 0,211 о.е.Значительно возросла степень влияния X<sub>43</sub> – уровня импортируемой электроэнергии по сравнению с потребленной – почти в 5 раз (с 0,08 до 0,389). Наибольшую степень кризисности по данному блоку вносит индикатор величины импортируемой энергии по сравнению с потребляемой. Ее величина является слишком большой в отдельные годы исследуемого периода. Поэтому выработка электроэнергии на собственных источниках и обеспечение самобаланса является основным мероприятием по обеспечению энергетической безопасности,(рис.4.)

Левобережье: Индикатор X<sub>43</sub> (импорт энергии) принимает 0-значения, а степень влияния остальных индикаторов возрастает в 2 раза .

Молдова: Влияние X<sub>41</sub> возросло с 0,84 до 1,15 о.е.; X<sub>42</sub> – с 0,37 до 0,511; X<sub>43</sub> – с 0,05 до 0,25 о.е. (в 5 раз).

**Блок № 5.** По всем регионам в данном блоке влияние индикатора  $X_{51}$  (уровень выбросов  $CO_2$  на 1 тыс. т.у.т. сожженного топлива) сохранилось практически на одном уровне за исследуемый период ( $0,29 \div 0,25$ ), а влияние  $X_{52}$  (выбросы  $CO_2$  на 1 жителя) снизилось: по Правобережью – с 0,25 до 0,09 о.е.; по Левобережью – с 0,90 до 0,19 о.е., по Молдове – с 0,37 до 0,107 о.е.

**Блок № 6. Правобережье:** Влияние индикаторов  $X_{61}$  и  $X_{62}$  (потребления электро- и теплоэнергии на душу населения) снизилось в интервалах 0,61 – 0,41 и  $0,32 \div 0,14$  о.е, а влияние  $X_{63}$  (соотношение затрат на энергоресурсы и среднедушевого дохода населения) возросло с 0,35 до 0,478 о.е.

**Левобережье:** Влияние  $X_{61}$  снизилось с 2,3 до 1,294, влияние  $X_{62}$  практически не изменилось ( $0,04 \div 0,05$ ), данные по  $X_{63}$  для этого региона отсутствуют.

**Молдова:** Влияние  $X_{61}$  уменьшилось с 0,90 до 0,54,  $X_{62}$  – с 0,27 до 0,13, а по  $X_{63}$  совпадает с данными по Правобережью., что составляет рост до 40% (рис.5).

Иными словами, наибольшую дестабилизацию в ситуацию по блоку в ряд последних лет вносит индикатор, отражающий величину затрат на оплату ТЭР из величины среднедушевого дохода населения. Это означает, что население тратит на приобретение ТЭР чрезмерно большие суммы. Основными мероприятиями при этом являются изменение тарифов и координация их между собой и уровнем среднедушевого дохода населения.

**Блок № 7.** Для данного блока анализ произведен для Правобережья и, ввиду отсутствия данных по Левобережью, принят для Молдовы в целом. Все индикаторы данного блока отображают уровни финансовых задолженностей. При этом их влияние изменилось в следующих интервалах:  $X_{71}$  – с 1,04 до 0,28 (задолженности потребителей-рис.6);  $X_{72}$  – с 0,05 до 0,277 (внутри- и межведомственные задолженности);  $X_{73}$  – с  $0,99 \div 0,575$  (суммарные дебиторские долги);  $X_{74}$  – с 0,45 до 0,707 (суммарные кредиторские долги).

На рис.6 приведены составляющие дебиторской задолженности (долги бытовых потребителей и внутриведомственные долги), анализ которых показывает, что кризисность в данном блоке и в энергосистеме в целом возникла не только по причине недоплат бытовых потребителей, а и по причине взаимных неплатежей в системе предприятий ТЭК (тепловые сети не рассчитываются с ТЭЦ и т.п. [3]).

Анализ влияния индикаторов суммарных дебиторской и кредиторской задолженностей позволяет сделать вывод о том, что «участие» этих индикаторов в кризисности ситуации по блоку примерно одинаковое. Основным мероприятием по данному блоку является своевременный расчет как потребителей, так и предприятий ТЭК между собой и ликвидация долгов.

**Суммарные взвешенные оценки по всем блокам вместе** определяются, как сумма взвешенных оценок по блокам и позволяют оценить степень влияния каждого блока на ситуацию в энергосистеме, в регионе и по Молдове в целом.

В Молдове наибольшее влияние на кризисность оказывают, например, в 1999 г. блоки № 4 (импорта электроэнергии) – 23 % и № 7 (финансовый) – 22,9 %. Сравнение % величин «участия» блоков в кризисности состояния по рис.7а (для 1990 г.) и б (для 1999 г) позволяет увидеть большое изменение роли блоков. Так, влияние блока №1 (топливообеспечения) снизилось с 23 % до 13%, блока №2 (производства энергии) снизилось с 26% до 14%, блока №3 (передачи и распределения энергии) возросло с 2% до 8%, и в наибольшей степени возрос вклад финансового блока- на 23%.

Таким образом, пятая часть угроз энергетической безопасности к 2000 году исходила от блока финансовых индикаторов, т.е. фактически от индикаторов, не зависящих от состояния и работоспособности технического оборудования, а связанных с человеческим фактором при управлении энергосистемой. Кроме того, можно указать также, что косвенным негативным воздействием явились общие экономические процессы

в государстве- многолетняя инфляция, эмиграция части населения, закрытие многих предприятий, нескоординированная тарифная политика и др.

### **Выводы.**

В результате проведенного анализа можно сформулировать приоритетные мероприятия по обеспечению энергетической безопасности:

1. Поддержание равнодолевой структуры потребляемого топлива. Чрезмерное преобладание одного вида топлива может привести (при перебое его подачи) к нарушению энергетической безопасности всей энергосистемы, и, следовательно, государства.

2. Выработка электроэнергии на собственных источниках и обеспечение самобаланса.

3. Согласование величин тарифов с уровнем среднедушевого дохода населения .

4. Своевременный расчет потребителей и предприятий ТЭК между собой и ликвидация долгов.

### **Литература**

1. В.В. Бушуев, Н.И. Воропай, А.М. Мастепанов, Ю.К. Шафраник и др. Энергетическая безопасность России. Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1998. 302 с.

2. В.Г. Благодатских, Л.Л. Богатырев, В.В. Бушуев, Н.И. Воропай и др. Влияние энергетического фактора на экономическую безопасность регионов России. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 1998 г. 195 с.

3. В.М. Постолатий, К.И. Гылка, М.И. Новак, Е.В. Быкова и др. Анализ состояния энергетического комплекса Республики Молдова и пути обеспечения энергетической безопасности. Кишинев: Штиинца, 2001 г. 168 с.

4. Е.В. Быкова. Формирование системы индикаторов для исследования энергетической безопасности Республики Молдова. Сборник трудов научно-технической конференции «Энергосистема: управление, качество, безопасность». – Екатеринбург, 2001 г, с. 195-198.

5. Е.В. Быкова. Автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук « Разработка методов расчета и анализ показателей энергетической безопасности ( на примере энергосистемы республики Молдова). Кишинев, 2003г, 22 с.