

УДК 338.28

DOI: 10.18384/2310-6646-2016-4-79-87

## ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РЫНКА ЕВРАЗИЙСКОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО СОЮЗА

**Кузнецов Н.А.***Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова**117997, г. Москва, ул. Стремянный переулок, д. 36, Российская Федерация*

**Аннотация.** В статье рассмотрены общие недостатки отдельных энергосистем государств Евразийского экономического союза и взаимные выгоды, которые можно получить за счёт развития торговли электроэнергией между ними. Изложены особенности оценки эффективности общего электроэнергетического рынка Евразийского экономического союза с учётом риска и неопределённости исходных данных. Для решения поставленной задачи автор предложил интегрированную модель, включающую вероятностное дерево сценариев и метод статистических испытаний. На основе разработанной модели приведён пример осуществления расчётов.

**Ключевые слова:** энергосистема, эффективность, сценарии развития, риски, неопределённость данных, оптимизация, ущербы, цены, себестоимость, электроэнергетический рынок.

## ECONOMIC-MATHEMATICAL ASSESSMENT OF THE EURASIAN ECONOMIC UNION ENERGY MARKET EFFICIENCY

**N. Kuznetsov***Plekhanov Russian University of Economics**36, Stremyanny lane, Moscow, 117997, Russian Federation*

**Abstract.** The article describes some general shortcomings of separate power systems of the Eurasian Economic Union and the mutual benefits to be gained through the development of electricity trade between them. The author reveals the features of assessing the effectiveness of the Common Eurasian Economic Union Energy Market taking into account risks and uncertainty of the input data. An integrated model that includes a probability scenario tree and statistical method is suggested and exemplified with calculations.

**Key words:** power system, efficiency, scenarios of development, risks, uncertainty of data, optimization, damages, prices, net cost, electricity market.

Энергосистемы государств Евразийского экономического союза обладают общими недостатками [6]:

– изолированная работа энергосистем приводит к ухудшению надёжности их функционирования;

– невозможность оптимизации режимов приводит к дополнительным потерям электроэнергии и перерасходу топлива и гидроресурсов;

– нарушение налаженной системы диспетчерского управления приводит к увеличению аварийных ситуаций и сроков их ликвидации;

– образование избытков и/или дефицитов по электроэнергии.

В сложившейся ситуации наиболее правильным является сотрудничество для получения взаимной выгоды за счёт развития торговли электроэнергией как в рамках Объединённой электроэнергетической системы, так и с другими энергосистемами [4; 7]. Представляются правильными развитие взаимной торговли электрической энергией между участниками общего электроэнергетического рынка Евразийского экономического союза (далее – ОЭР Союза) по свободным двусторонним договорам и организация взаимной торговли электрической энергией между участниками ОЭР Союза на централизованных торгах государств-членов.

Эффективный рынок электроэнергии должен основываться на экономико-математических расчётах, в основе которых должна лежать система моделей, охватывающих оценку отдельных параметров (себестоимость генерации электроэнергии, рыночные цены, объёмы перетоков электроэнергии, потоков денежных средств и др.). Особое внимание следует обратить на развитие генерирующих мощностей и передачу электроэнергии. В рассматриваемых странах наращиваются мощности производства электроэнергии за счёт топливно-энергетических ресурсов (газ, уголь), гидроэнергии

(энергия течения рек, приливов) и ресурсов АЭС. Несмотря на разработанные планы строительства новых энергетических мощностей, их реализация может быть отложена или замещена другими проектами.

Наиболее сложными и важными для оценки эффективности функционирования рынка электроэнергии являются следующие задачи:

– учёт рисков и неопределённости исходных данных при проведении расчётов;

– разработка сценариев развития генерирующих мощностей в странах-участниках общего электроэнергетического рынка Евразийского экономического союза;

– оптимизация потоков электроэнергии в рамках общего электроэнергетического рынка Евразийского экономического союза.

При оценке эффективности рынка электроэнергии необходимо учитывать факторы риска и неопределённость исходных данных. При этом возникает необходимость выбора адекватных подходов к экономической оценке эффективности общего электроэнергетического рынка Евразийского экономического союза в зависимости от характера неопределённости исходной информации. Систематизация вариантов неопределённости исходных данных и применяемых методов для учёта указанной неопределённости при экономической оценке ущерба от загрязнения окружающей среды приведена в таблице 1. В основу данной систематизации положены степени неопределённости экономических расчётов К. Борха [5].

Из проведённой систематизации видно, что сценарные методы, методы

теории вероятностей и методы теории разной степени неопределённости исходных параметров применяются для

Таблица 1

**Систематизация неопределённости исходной информации при оценке эффективности функционирования  
Общего электроэнергетического рынка Евразийского экономического союза**

Степень неопределённости по К. Борху	Особенности для экономической оценки рынка электроэнергии	Рекомендуемые методы
Квазидетерминированная неопределённость	Изменение возможностей выработки энергии в странах и потребности в электроэнергии определены в некотором диапазоне	Сценарные методы, в том числе метод дерева сценариев
Стохастическая неопределённость	Законы распределения вероятностей параметров, определяющих эффективность рынка электроэнергии (тарифы, текущие затраты), известны	Вероятностные методы, в том числе метод статистических испытаний (Монте-Карло)
Неопределённость с известным распределением событий, но недостаточной выборкой для установления точных значений его параметров	Известен тип распределения параметров, определяющих эффективность рынка электроэнергии (тарифы, текущие затраты)	
Неизвестное распределение параметров при достаточно большой выборке	Закон распределения установить не удаётся, но на основе имеющихся данных можно получить интервальные оценки или оценки погрешностей	Методы нечётких множеств, метод статистических испытаний (Монте-Карло) с треугольным распределением
Сильная стохастика событий и малая выборка	Отсутствует статистическая информация и не установлены закономерности изменения параметров. Данная ситуация не соответствует реальным ожиданиям решаемой задачи	Методы нечётких множеств
Нестохастическая неопределённость, исключающая какие-либо вероятностные закономерности	Исключаются какие-либо вероятностные закономерности параметров. Данная ситуация не соответствует реальным ожиданиям решаемой задачи	Методы нечётких множеств

Исходя из анализа методов оценки эффективности электроэнергетического рынка, неопределённость исходных данных (возможностей ввода новых энергетических мощностей, изменение потребности в электроэнер-

гии) может быть учтена на модельном уровне с помощью сценарного вероятностного дерева [1; 2], привязанного к оси времени. В то же время параметры, которые используются для расчётов эффективности, определения опти-

мальных объёмов перетоков электроэнергии, расчёта оптимального уровня цен, являются прогнозными. Они могут быть заданы в виде интервалов (минимального и максимального значений) и ожидаемого значения внутри интервала, т.е.  $b = (b^{\min}; b^{\exp}; b^{\max})$ . В этом случае целесообразно воспользоваться методом Монте-Карло [1; 3].

$$b = \begin{cases} b^{\min} + \sqrt{\omega(b^{\exp} - b^{\min})(b^{\max} - b^{\min})} & \text{при } \omega \leq \frac{b^{\exp} - b^{\min}}{b^{\max} - b^{\min}} \\ b^{\max} - \sqrt{(1-\omega)(b^{\max} - b^{\exp})(b^{\max} - b^{\min})} & \text{при } \omega > \frac{b^{\exp} - b^{\min}}{b^{\max} - b^{\min}} \end{cases} \quad (1)$$

На основе перечисленных выше параметров и исходя из перетока электроэнергии, важно оценить экономическую эффективность на долгосрочную перспективу для каждой из стран-участниц рынка электроэнер-

Результаты расчёта исследуемого показателя будут определяться путём большого числа статистических испытаний  $N=1000$ . Значения параметра  $b$  в указанном интервале определяются по формуле (1) исходя из случайного числа  $\omega$ , полученного с помощью генератора случайных чисел:

гии. С этой целью необходимо воспользоваться показателями оценки экономической эффективности с учётом дисконтирования – NPV (чистого дисконтированного дохода), PBP (срока окупаемости) и др.

$$NPV = \sum_{t=1}^T (P_t(\omega)Q_t^j - E_t^j(\omega)Q_t^j - S_t^jQ_t^j - Z_t^j - Y_t^jQ_t^j)(1+r)^{1-t} \quad (2),$$

где  $P_t(\omega)$  – цена, которая является случайной и находится в интервале

$P_t \in (P_t^{\min}; P_t^{\max})$ ;  
 $Q_t^j$  – переток электроэнергии по  $j$ -ому сценарию;

$E_t^j(\omega)$  – удельные затраты на производство электроэнергии по  $j$ -ому сценарию, находящиеся в интервале

$E_{jt} \in (P_{jt}^{\min}; P_{jt}^{\max})$ ;

$S_t^j$  – удельные затраты на переток электроэнергии по  $j$ -ому сценарию;

$Y_t^j$  – удельная величина ущерба от загрязнения окружающей среды по  $j$ -ому сценарию;

$Z_t^j$  – затраты на функционирование

рынка электроэнергии по  $j$ -ому сценарию.

Таким образом, для решения задачи оценки экономической эффективности энергетического рынка Евразийского экономического союза в долгосрочной перспективе целесообразно построить интегрированную модель, включающую вероятностное дерево сценариев и метод статистических испытаний (Монте-Карло). Тогда для каждого исхода дерева сценариев  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) требуется провести оценку показателей экономической эффективности методом статистических

испытаний, что позволит получить графики накопленных вероятностей

$P_i(NPV)$   $i = 1, 2, \dots, n$  (рис. 1).

На дугах дерева сценариев необходимо на основе экспертной оценки

$$\sum_{m \in J_k} \alpha_{km} = 1 \quad (3),$$

где  $\alpha_{km}$  – вероятность перехода от события  $k$  к событию  $m$ ;

$J_k$  – множество дуг  $m$ , исходящих из события  $k$ .

Количество сценариев будет равно числу конечных событий  $l=1, 2, \dots, n$

$$\mu_l = \prod_{(k,m) \in L_l} \alpha_{km} \quad \forall l = 1, 2, \dots, n \quad (4).$$

При этом сумма вероятностей сценариев будет равна единице. В качестве примера в таблице 2 приведены вероятности для дуг сценарного де-

определить вероятности так, что сумма вероятностей на исходящих дугах для каждого события будет равна единице:

дерева сценариев, каждый из которых будет складываться из последовательности событий на пути дерева от начального события до конечного события:  $(k, m) \in L_l$ . Вероятности сценария  $l$  определяются по формуле:

рева, приведённого на рисунке 1, а в таблице 3 – результаты расчёта вероятностей для сценариев.

Таблица 2

### Исходные данные и результаты расчёта вероятностей для сценариев

Вероятности перехода от базового события		Вероятности перехода от события 1		Вероятности перехода от события 2	
к событиям	Значение вероятности, доли	к событиям	Значение вероятности, доли	к событиям	Значение вероятности, доли
1	0,3	1.1	0,4	2.1	0,2
2	0,7	1.2	0,6	2.2	0,8

Таблица 3

### Расчёт вероятности сценариев

События сценария	Значение вероятности, доли
Базовое событие – 1 – 1.1	$0,3 \times 0,4 = 0,12$
Базовое событие – 1 – 1.2	$0,3 \times 0,6 = 0,18$
Базовое событие – 2 – 2.1	$0,7 \times 0,2 = 0,14$
Базовое событие – 2 – 2.2	$0,7 \times 0,8 = 0,56$

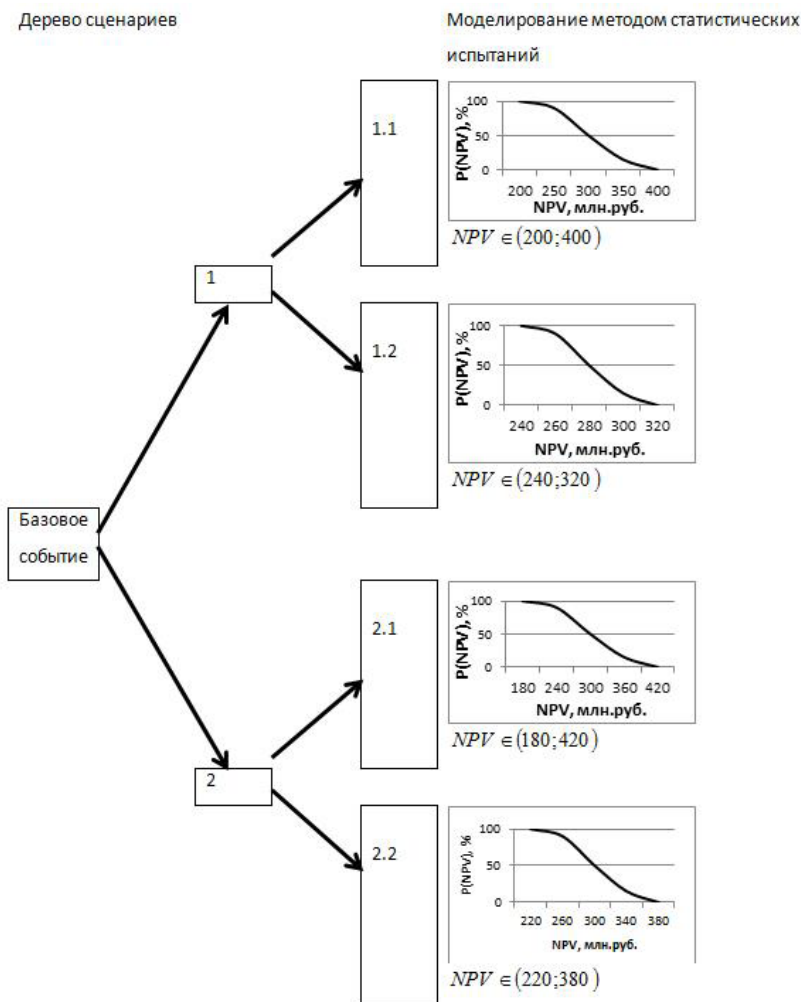


Рис. 1. Графическое отображение интегрированного подхода на основе использования модели «Дерево сценариев» и метода статистических испытаний.

Следующий шаг реализации интегрированной модели – расчёт NPV с помощью метода статистических испытаний (Монте-Карло). В формуле (2) часть параметров включается в соответствии с используемым сценарием ( $Q_t^j, S_t^j, Z_t^j$ ), а часть ( $P_t(\omega), E_{jt}(\omega)$ ) определяется случайным образом в соответствии с треугольным законом

распределения (1). В результате расчёта NPV методом Монте-Карло, для каждого из сценариев  $l$  будут получены накопленные вероятности  $P_l(NPV)$ , представленные в левой части рисунка 1.

После этого требуется агрегировать графики вероятностей  $P_l(NPV)$  в соответствии с вероятностями  $\mu_l$  сценариев  $l$ :

$$P(NPV) = \sum_l \mu_l P_l(NPV) \quad (5).$$

В таблице 4 приведены опорные  $P_l(NPV)$  и результаты расчёта агрегированного графика вероятностей.

Таблица 4

**Значения NPV по сценариям и результаты расчёта  
интегрированных значений NPV**

Вероятность, %	Значения NPV для сценариев				Интегрированные по всем сценариям значения NPV
	l=1	l=2	l=3	l=4	
100	200	240	180	220	215,6
90	250	260	240	260	256
50	300	280	300	300	296,4
15	350	300	360	340	336,8
0	400	320	420	380	377,2
$\mu_l$	0,12	0,18	0,14	0,56	-

На основе полученных расчётов построен итоговый график NPV (рис. 2).

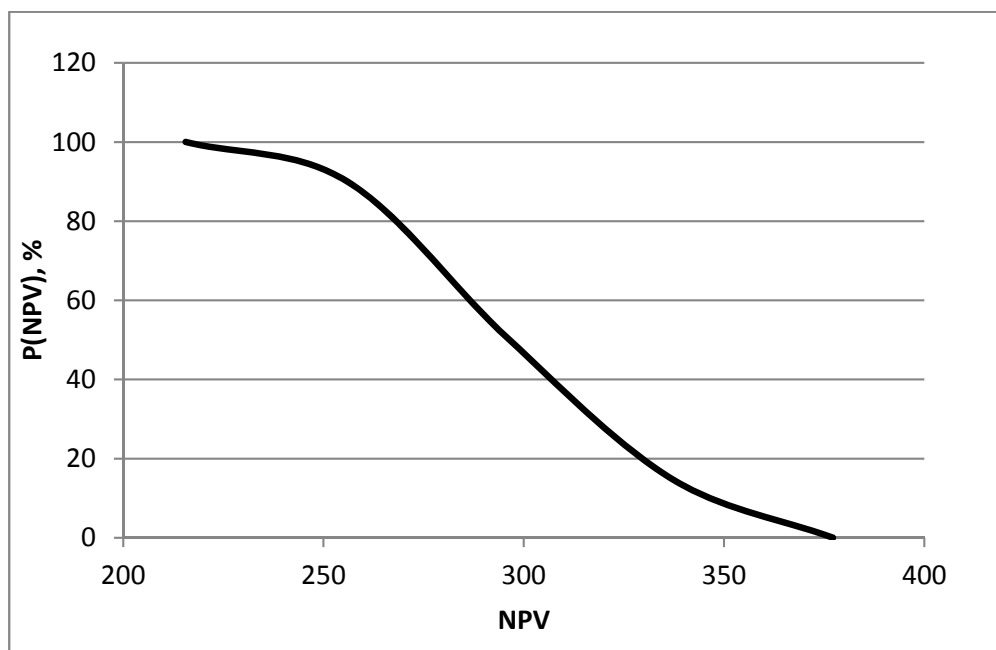


Рис.2. Итоговая оценка NPV, полученная на основе интегрированной модели.

Расчёт остальных показателей экономической эффективности функционирования общего электроэнергетического рынка Евразийского экономического союза (срок окупаемости, рентабельность инвестиций и др.) может быть проведён аналогично. Предложенный подход может быть ис-

пользован и для оценки эффективности рынка электроэнергетики.

Для проведения расчётов автором была разработана программа в среде *MS-Excel*, которая даёт возможность учитывать более сложные сценарные деревья.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. А.Л. Новоселов и др. Экономика, организация и управление в области недропользования: учебник и практикум для магистров. М.: Юрайт, 2014. 626 с.
2. И.Ю. Новоселова и др. Вероятностная оценка экстерналий эффектов в регионе при использовании природных ресурсов // Проблемы региональной экологии. 2016. № 1. С. 76–80.
3. Новоселова И.Ю. Экономика природных ресурсов: оценки, риски и потенциалы: монография. М.: Изд-во ГУУ, 2010. 253 с.
4. Развитие электроэнергетики в России за 2014 год [Электронный ресурс] // Национальное рейтинговое агентство: [сайт]. [2014]. URL: <http://www.ra-national.ru/sites/default/files/other/55.pdf> (дата обращения: 17.10.2016).
5. Тихомиров Н.П., Тихомирова Т.М. Риск-анализ в экономике. М.: Экономика, 2010. 318 с.
6. Eastern Europe, Caucasus and Central Asia Energy Policies Beyond IEA countries Highlights OECD/IEA, 2014 [Электронный ресурс]. URL: [http://ictt.by/Docs/news/2014/11/2014-11-12\\_01/INOGATE\\_Highlights\\_IEA\\_EN\\_2014.pdf](http://ictt.by/Docs/news/2014/11/2014-11-12_01/INOGATE_Highlights_IEA_EN_2014.pdf) (дата обращения: 17.10.2016).
7. Electricity and Capacity Market: Today and Tomorrow Acting Board Chairman of the Non-commercial Partnership "Market Council" M. Bystrov, 2014 [Электронный ресурс]. URL: [http://www.rosenergoatom.ru/resources/314456004da297918a82ae3e0a248c73/Rea\\_eng\\_Report\\_2015\\_web.pdf](http://www.rosenergoatom.ru/resources/314456004da297918a82ae3e0a248c73/Rea_eng_Report_2015_web.pdf) (дата обращения: 17.10.2016).

#### REFERENCES:

1. A.L. Novoselov and others. *Ekonomika, organizatsiya i upravlenie v oblasti nedropol'zovaniya: uchebnik i praktikum dlya magistrów* [Economics, Organization and Management in the Field of Subsoil Use: Tutorial and Workshop for Master Students]. M., Yurait, 2014. 626 p.
2. I.Yu. Novoselova and others. *Veroyatnostnaya otsenka eksternal'nykh effektov v regione pri ispol'zovanii prirodnykh resursov* [The probabilistic assessment of external effects in the region at natural resource use] // *Problemy regional'noi ekologii*. 2016. No 1. Pp. 76–80.
3. Novoselova I.Yu. *Ekonomika prirodnykh resursov: otsenki, riski i potentsialy: monografiya* [Economics of Natural Resources: Assessment, Risks, and Potentials: a monograph]. M., Izd-vo GUU, 2010. 253 p.
4. *Razvitie elektroenergetiki v Rossii za 2014 god* [Elektronnyi resurs] [The Development of Power Industry in Russia in 2014 [Electronic source]] // *Natsional'noe reitingovoe agentstvo: [site]*. [2014]. [The National Rating Agency: [website]]. [2014]. URL: <http://www.ra-national.ru/sites/default/files/other/55.pdf> (request date 17.10.2016).
5. Tikhomirov N.P., Tikhomirova T.M. *Risk-analiz v ekonomike* [Risk Analysis in Economics]. M., Ekonomika, 2010. 318 p.



6. Eastern Europe, Caucasus and Central Asia Energy Policies Beyond IEA countries Highlights OECD/IEA, 2014 [Electronic source]. URL: [http://ictt.by/Docs/news/2014/11/2014-11-12\\_01/INOGATE\\_Highlights\\_IEA\\_EN\\_2014.pdf](http://ictt.by/Docs/news/2014/11/2014-11-12_01/INOGATE_Highlights_IEA_EN_2014.pdf) (request date 17.10.2016).
7. Electricity and Capacity Market: Today and Tomorrow Acting Board Chairman of the Non-commercial Partnership «Market Council» М. Bystrov, 2014 [Electronic source]. URL: [http://www.rosenergoatom.ru/resources/314456004da297918a82ae3e0a248c73/Rea\\_eng\\_Report\\_2015\\_web.pdf](http://www.rosenergoatom.ru/resources/314456004da297918a82ae3e0a248c73/Rea_eng_Report_2015_web.pdf) (request date 17.10.2016).

---

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

*Кузнецов Николай Александрович* – аспирант кафедры математических моделей в экономике Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова;  
e-mail: NikolayKuznecov33@gmail.com

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

*Nikolai Aleksandrovich Kuznetsov* – Graduate Student at the Department of Mathematical Models in Economics at Plekhanov Russian University of Economics;  
e-mail: NikolayKuznecov33@gmail.com

---

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

*Кузнецов Н.А.* Экономико-математическая оценка эффективности энергетического рынка Евразийского экономического союза // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Экономика. 2016. № 4. С. 79-87.  
DOI: 10.18384/2310-6646-2016-4-79-87

#### BIBLIOGRAPHIC REFERENCE

*Kuznetsov N.A.* Economic-Mathematical Assessment of the Eurasian Economic Union Energy Market Efficiency // Bulletin of Moscow State Regional University. Series: Economics. 2016. № 4. P. 79-87.  
DOI: 10.18384/2310-6646-2016-4-79-87