

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Егоров В., Кужеков С. / Интеллектуальные технологии в распределительном электросетевом комплексе. - «ЭнергоРынок», 2010, № 6.
 2. Волобуев В.В. Что такое Smart Grid? [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=668950> (дата обращения 04.11.2020).
 3. Короткевич М.А. Учебная литература Электрические сети-210 [Электронный ресурс].-URL: <https://clck.ru/Pa2Ua> (дата обращения 04.11.2020).
 4. Чичёв С.И., Глинкин Е.И. / Единая техническая сеть связи. 2011. С.25-12.
 5. Tabachnikova T.V. 2019 Simulation model of the electrical complex of auxiliary equipment of an oil and gas production enterprise Nurbosynov D.N., Bashirov Ramil F., Bashirov Rail F., Batanin A.V. International Scientific Electric Power Conference (IOP Publishing. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering) p. 643 (Preprint012096 doi:10.1088/1757-899X/643/1/012096).
- Крюков А.В., Коновалов Ю.В. Применение интеллектуальных технологий для электротехнических комплексов на нефтегазодобывающих предприятиях // Сборник научных трудов АнГТУ. Ангарск : Издательство АнГТУ, 2018.С. 162-169.

УДК 621.31

Кононов Дмитрий Юрьевич,

к.т.н., доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий»,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: stranger72@bk.ru

Величко Максим Александрович,

обучающийся кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий»,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,

Сахаровская Кристина Сергеевна,

обучающаяся кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий»,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»

СПОСОБЫ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СТРАТЕГИЧЕСКИХ УГРОЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Kononov D.Yu., Velichko M.A., Sakharovskaya K.S.

METHODS FOR ASSESSING THE ECONOMIC COMPONENT STRATEGIC THREATS TO ENERGY SECURITY

Аннотация. Рассматриваются основные экономические угрозы энергетической безопасности (ЭБ) и характеризующие ее показатели. Представлены разработанные модели для оценки численных значений этих угроз. Приведены результаты экспериментальных расчетов.

Ключевые слова: энергетическая безопасность, стратегические угрозы, индикаторы, риски.

Abstract. The main economic threats to energy security and its characteristics are considered. The developed models for estimating the numerical values of these threats are presented. The results of experimental calculations are presented.

Keywords: energy security, strategic threats, indicators, risks.

Международное энергетическое агентство характеризует энергетическую безопасность как «непрерываемую доступность энергетических ресурсов по приемлемым ценам» [1-3]. Из этой трактовки видна важная роль экономической составляющей ЭБ и учета таких стратегических угроз как дефицит производственных мощностей в ТЭК и

неприемлемая для экономики страны динамика цен на энергоносители. Количественная оценка значимости этих угроз, вероятности возникновения и возможных ущербов – важная и сложная проблема, удовлетворительных и общепризнанных методов решения которой нет [4-12].

Угроза возможного длительного дефицита мощностей может быть вызвана: недостатком инвестиций и других ресурсов для своевременной реализации крупномасштабных проектов, проблемами в требуемом развитии сопряженных отраслей и инфраструктуры, временными ограничениями (инерционность).

Инвестиционные риски проектов и вариантов развития электроэнергетики, а также доля электростанций с недопустимым риском в структуре новых мощностей могут использоваться в качестве индикаторов ЭБ. Для их численной оценки в ИСЭМ СО РАН используется стохастическая модель (компьютерная программа) МИСС-ЭЛ [13], сочетающая оптимизацию с известным методом Монте-Карло [14-16]. Она позволяет определять рациональные варианты развития региональных систем энергоснабжения по критерию минимума дисконтированных затрат на обеспечение заданной потребности в электроэнергии.

Важная особенность МИСС-ЭЛ – все основные исходные данные и ограничения задаются не однозначно, а интервально, с возможностью учитывать разный характер распределения вероятностей внутри этого

интервала. Модель позволяет получать сотни сбалансированных и оптимальных при разных варьируемых исходных данных вариантов, отбирать наиболее устойчивый из них и оценивать вероятность попадания в этот основной вариант новых и реконструируемых электростанций разной мощности. Чем ниже вероятность, тем выше риск для инвестора. Соответственно, инвестиционный риск определяется как величина, обратная вероятности.

Представленные результаты расчетов на модели МИСС-ЭЛ относятся к варианту электроснабжения 6 федеральных округов Европейской части РФ, включая Урал. Условия этого варианта близки к минимальному варианту Генеральной схемы ввода мощностей электростанций до 2035 года, принятой Правительством РФ в июне 2017 года [17-19].

На инвестиционные риски, как и на стоимость генерации электроэнергии, значительное влияние оказывает прогнозируемый спрос на электроэнергию (рис. 1). Это влияние по-разному проявляется для разных станций и зависит от величины и характера неопределенности исходных данных (табл. 1).

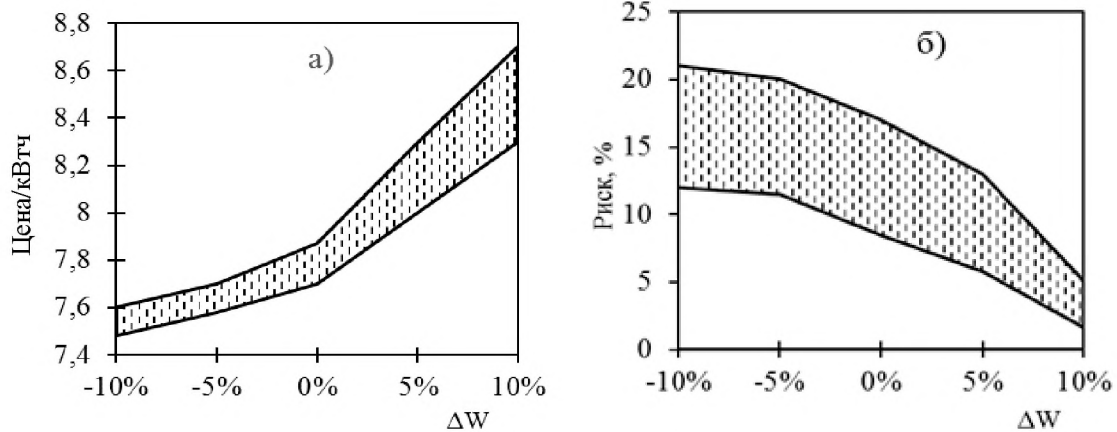


Рисунок 1 – Влияние на среднюю цену генерации (а) и риск для инвесторов (б) изменения спроса на электроэнергию (ΔW)

Примечание. Нижняя граница при нормальном распределении исходных данных, верхняя – при их интервальной неопределенности.

Расчеты показали заметные региональные различия в вероятности (рисков) дефицита мощностей электростанций (табл. 2). Из таблицы видно, что при минимальной неопределенности исходных данных (нормальное распределение их вероятности) средневзве-

женный риск суммарного ввода новых электростанций в отдельных регионах колеблется от 4 до 15%, а при интервальной неопределенности – от 10 до 20%. При этом рискованность инвестирования строительства отдельных станций может превышать 50%.

Таблица 1 – Инвестиционные риски новых электростанций и их зависимость от изменения прогнозируемого спроса на электроэнергию, %

Электростанции	Отклонение от базового варианта		
	-5%	0%	5%
КЭС, газ	14-21	13-20	11-18
ТЭЦ, газ	2-4	1,5-4	1-2
ТЭЦ, уголь	17-31	4-23	2-18
АЭС	25-35	19-26	9-17
ГЭС	16-20	14-17	11-14
ВИЭ	20-40	12-32	11-22
Средний риск	12-20	8-17	6-13

Примечание. Нижняя граница при нормальном распределении исходных данных, верхняя – при их интервальной неопределенности.

Таблица 2 – Влияние характера неопределенности исходных данных на инвестиционные риски и стоимость электроэнергии в отдельных регионах (Федеральных округах)

Показатель	Единицы измерения	Характер неопределенности	Регионы					
			1	2	3	4	5	6
Инвестиционные риски вариантов энергообеспечения	%	Нормальное распределение	9	15	15	2,5	4	7
		Интервальная неопределенность	19,5	20	19,5	10	12	17
Доля мощностей станций с риском более 50%	%	Нормальное распределение	2,5	2,2	3	1,2	0	7,3
		Интервальная неопределенность	6,5	9,3	5,5	0	0	6
Стоимость электроэнергии	Цена/кВтч	Нормальное распределение	7,3	7,7	7,8	8,1	7,7	7
		Интервальная неопределенность	7,3	8	8	8,6	8,3	7,3

Структура ввода мощностей электростанций также зависит от неопределенности задаваемых условий. Это видно на примере доли ГЭС и ВИЭ в структуре новых электростанций (табл. 3). Она заметно меняется не только по сравнению с детерминированным вариантом, но и при сравнении между собой вариантов с разным характером неопределенности. При этом из-за заданных ограни-

чений на вводы мощностей в одних регионах изменение неопределенности исходных данных приводит к увеличению роли этих электростанций, а в других – к снижению.

Расчеты показали заметное влияние на структуру новых мощностей и, соответственно, на инвестиционные риски также и величины нормы дисконта, принимаемого при оптимизации (рис. 2).

Таблица 3 – Влияние способа задания условий развития региональных систем энергоснабжения на долю ГЭС и ВИЭ в структуре новых электростанций, %

Характер исходных данных	Регионы						Макро регион в целом
	1	2	3	4	5	6	
Детерминированный	1,7	11,3	0,7	11	16,9	7,3	6,9
Нормальное распределение вероятности	1,2	11,1	2,1	12,9	16,5	7,4	7,1
Интервальная неопределенность	1,2	10,7	3	10,5	15,8	11,5	7,5

Для комплексной оценки угрозы дефицита мощностей при реализации варианта развития электроэнергетики необходимо знать не только вероятность (риск) и величину дефицита, но и возможный макроэкономический ущерб. Для его определения используется оптимизационная межотраслевая модель МИДЛ [20-23]. Согласно экспериментальным расчетам, при годовом однопроцентном дефиците мощности электростанций, снижение ВВП может превысить 0,15 процента.

Причины, вызывающие угрозу неприемлемой динамики роста цен на электроэнергию, могут быть разными: противоречия интересов производителей и потребителей, неопределенность конъюнктуры, замедление роста жизненного уровня, низкая адаптивность потребителей к изменению цен, высокая энергоёмкость экономики. Среди наиболее значимых индикаторов ЭБ, характеризующих эту угрозу, можно выделить следующие:

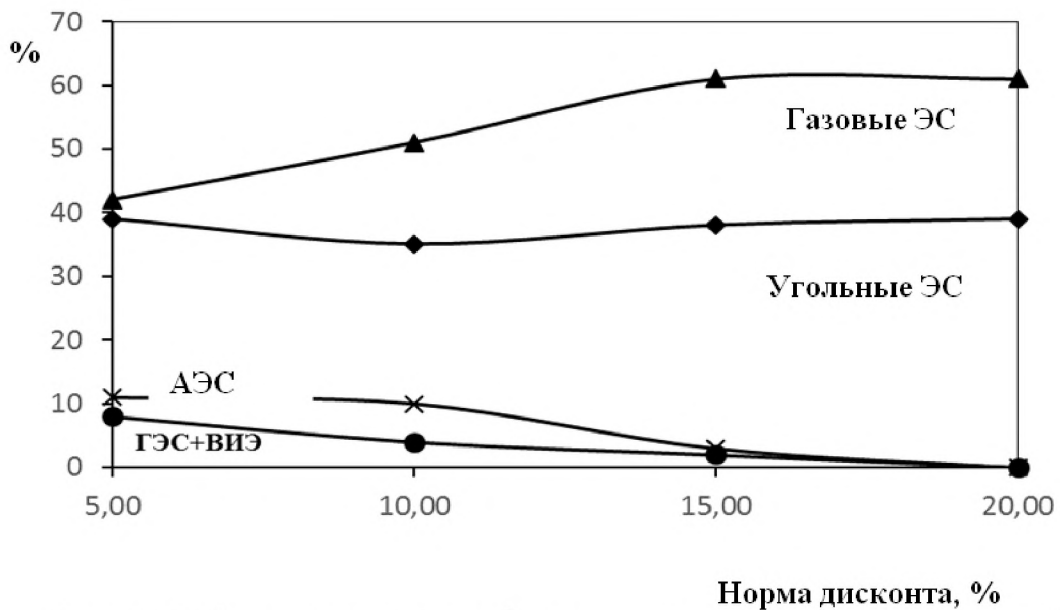


Рисунок 2 – Влияние ставки дисконта на структуру ввода новых электростанций

1. Ценовая эластичность спроса на электроэнергию.

Чем выше ценовая эластичность спроса на электроэнергию, тем выше уровень адаптации потребителей к угрозе ее удорожания.

2. Доля затрат на энергию в ВВП.

Эта доля в России сейчас равна примерно 11%, что на 2-3 процентных пункта выше, чем среднемировая. Но она может значительно возрасти при реализации Парижского соглашения по снижению CO₂.

3. Вероятное снижение темпов ВВП при удорожании электроэнергии.

Последний индикатор, характеризующий негативную реакцию макроэкономических показателей на удорожание электроэнергии, может служить комплексной характеристикой ценовой угрозы ЭБ. [24-26]. Для его приближенной численной оценки можно использовать разработанную в ИСЭМ систему моделей, главную роль в которой играет модель МИДЛ, а также модели, оцениваю-

щие влияние удорожания энергоносителей на цены в производственной сфере и на снижение конечного потребления товаров и услуг в непроизводственной сфере. Пример такой оценки приведен в табл. 4.

Результаты экспериментальных расчетов показывают, что в зависимости от структуры и темпов развития экономики и других факторов эластичность ВВП по цене электроэнергии в среднесрочной перспективе может колебаться от -0,12 до -0,16%. В долгосрочной перспективе влияние изменения стоимости электроэнергии на экономический рост должно уменьшиться.

Среди нерешенных проблем численной оценки стратегических угроз ЭБ можно выделить проблему построения агрегированного (обобщенного) индекса этих угроз с учетом взаимосвязей и меняющейся во времени относительной значимости этих угроз.

Таблица 4 – Изменение макроэкономических показателей при удорожании электроэнергии, %

Показатели	Рост тарифов					
	в 1.2 раза		в 1.5 раза		в 2 раза	
	2010 г.	2030 г.	2010 г.	2030 г.	2010 г.	2030 г.
Инфляция	0,7	0,3	2,2	0,95	4,8	2,3
Стоимость жизни	0,8	0,7	2,4	1,9	5,2	4,2
ВВП	-2,0	-1,6	-3,6	-3,1	-6,3	-5,5
Конечное потребление товаров и услуг	-2,4	-1,6	-4,5	-3,2	-8,1	-5,9

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. IEA. Measuring short-term energy security, 2011. 15 p. URL: <http://www.yumpu.com/en/document/view/19621056/measuring-short-term-energy-security-iea>.
2. Кононов Ю.Д. Анализ зарубежного опыта комплексной оценки состояния энергетической безопасности // Энергетическая политика. 2019. № 6. с. 98-107.
3. Сендеров С.М., Рабчук В.И., Пяткова Н.И. Обеспечение энергетической безопасности России: выбор приоритетов. Новосибирск: Наука, 2017. 116 с.
4. Handbook on Constructing Composite Indicators: methodology and user guide / OESD, 2018. 152 p.
5. Energy Security: a review of studies of the economic value of energy security // Universita degli studi di Padova, Anno Accademico, 2015/2016, 110 p.
6. Augutis J., Krikstolaitis R., Martisauskas J. Integrated Energy Security Assessment // Energy, 128 (2017), p. 890-901.
7. Кононов Ю.Д., Тыртышный В.Н., Кононов Д.Ю. Использование стохастического моделирования при выборе вариантов энергоснабжения регионов с учетом инвестиционных рисков // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2018. № 2. С. 80-87.
8. Ермаков С.М. Метод Монте-Карло и смежные вопросы. М.: Наука, 1975. 472 с.
9. Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2035 года. Правительство РФ, 9 июня 2017 г. No 1209-р <http://static.government.ru/media/files/zzvuuhfq2f3OJK8AzKVsXrGlbW8ENGp.pdf>.
10. Кононов Ю.Д., Гальперова Е.В., Кононов Д.Ю. и др. Методы и модели прогнозных исследований взаимосвязей энергетики и экономики. Новосибирск: Наука, 2009, 178 с.
11. Макаров А.А. Методы и результаты прогнозирования развития энергетики России // Изв. РАН. Энергетика. 2010. № 4. С. 26-40.
12. Handbook on Constructing Composite Indicators: methodology and user guide / OESD, 2018. 152 p. URL: <http://composite-indicators.jrc.ec.europa.eu>.
13. WEC. World Energy Trilemma Index: Monitoring the Sustainability of National Energy Systems, 2017. 145 p. URL: <https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2017/11/Energy-Trilemma-Index-2017-Report.pdf>
14. WEF. Global Energy Architecture Performance Index. Report 2017. 32 p. URL: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Energy_Architecture_Performance_Index_2017.pdf
15. Index of U.S. Energy Security Risk (2017 edition) / Global Energy institute U.S. Chamber of Commerce, 2017. 89 p.
16. International Index of Energy Security Risk: Assessing Risk in a Global Energy Market / Global Energy institute U.S. Chamber of Commerce, 2018. 80 p.
17. Мелентьев Л.А. Системные исследования в энергетике. М.: Наука, 1979. 414 с.
18. Смирнов В.А. Процессы адаптации в развитии энергетики. М.: Наука, 1983. 195 с.
19. Смирнов В.А. Проблемы повышения гибкости в энергетике. М.: Наука, 1989. 192 с.
20. Дейч И.Г. Энергоэкономические тенденции развития производства. М.: Наука, 1985. 176 с.
21. Кононов Д.Ю. Об эффективности снижения нагрузки и электропотребления // Энергетик. 2015. №2. С 15-21.
22. Кононов Д.Ю. Методические подходы к согласованию интересов производи-

телей и потребителей энергии при разработке тарифной политики // Препринт ИСЭМ СО РАН, 2016. С. 43.

23. Кононов Д.Ю. Стимулирование энергосбережения и управления спросом на энергию в условиях реформирования электроэнергетики // Труды научно-технической конференции «Энергосистема: управление, качество, безопасность», 26-28 сентября 2001 г., Екатеринбург. С. 54-59.

24. Кононов Ю.Д. Внешние производственные связи и инерционность топливно-

энергетического комплекса // Изв. СО РАН СССР. Серия общественных наук. 1981. № 2. С. 12-18.

25. Кононов Ю.Д. Энергетика и экономика (проблемы перехода к новым источникам энергии). М.: Наука, 1981. 188 с.

26. Кононов Ю.Д., Корнеев А.Г., Ткаченко В.З. Моделирование внешних производственных связей отраслевых систем // Экономика и математические методы. 1979. Т. XV. № 5. С. 969-978.