

УДК 338.4

DOI: 10.18384/2310-6646-2017-2-26-40

## ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ КОМПЛЕКСНОЙ ПРОГРАММЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РЫНКА ЕВРАЗИЙСКОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО СОЮЗА

**Кузнецов Н.А.<sup>1</sup>, Ховенталь П.А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова  
117997, г. Москва, Стремянный пер., д. 36, Российская Федерация

<sup>2</sup>Московский физико-технический институт (государственный университет)  
141701, Московская обл., г. Долгопрудный, Институтский пер., д. 7,  
Российская Федерация

**Аннотация.** В статье рассматриваются проблемы разработки программы формирования электроэнергетического рынка Евразийского экономического союза. Предлагается система моделей, позволяющих реализовать две очереди программ организационно-институционального обеспечения и программ инвестиционного развития каждой стране, участвующей в создании рынка электроэнергии. Авторами предложено включить в расписание реализации программы резервы времени, которые определяются, исходя из воздействия негативных факторов на каждое мероприятие в отдельности. Оценка резерва времени основывается на сочетании экспертных оценок при помощи специально разработанной шкалы и теории нечётких множеств. Детально разработан алгоритм расчёта нечёткой оценки резерва времени мероприятия. Предложено использование риск-функции для определения скалярного значения резерва времени, включаемого в модели формирования расписания реализации программных мероприятий. Разработанный подход иллюстрируется с помощью нечётких чисел.

**Ключевые слова:** программа, модель, метод последовательного назначения, резерв времени, треугольные числа, шкала оценки, риск-функция, степень уверенности.

## THE FEATURES OF THE DEVELOPMENT OF A COMPLEX PROGRAM TO CREATE THE EURASIAN ECONOMIC UNION ELECTRICITY MARKET

**N. Kuznetsov, P. Khovental**

<sup>1</sup>Plekhanov Russian University of Economics  
36, Stremyanny lane, Moscow, 117997, Russian Federation

<sup>2</sup>Moscow Institute of Physics and Technology  
7, Institutsky lane, Dolgoprudny, Moscow Region, 141701, Russian Federation

**Abstract.** The article considers the issue of developing a program to create a common electricity market of the Eurasian Economic Union. The system of models to implement two stages of the program of organizational and institutional support and investment programs for the development of each country participating in the creation of the electricity market was devised. The au-

thors suggested including in the schedule of the program the reserves determined on the basis of the impact of negative factors on each activity separately. The estimation of time reserve is based on a combination of expert assessments using a specially designed scale and the theory of fuzzy sets. The authors developed an algorithm for calculating fuzzy evaluation of the reserve time for the event. It is proposed to use a risk-function to determine the scalar value of reserve time to include into the model of schedule formation of program activities implementation. The developed approach is illustrated by a numerical example.

**Keywords:** program, models, method of consequential appointment, time reserve, triangular numbers, the scale of assessment, risk function, the degree of certainty.

По производству электроэнергии Россия занимает 4 место в мире, опережая Германию, Францию и другие западноевропейские государства, а по выработке электроэнергии на душу населения опережает показатели Великобритании, Италии и близко подходит к показателям Германии [12, с. 25–27, 1, с. 41, 42]. Вместе с тем эффективность использования производимой в России электроэнергии недостаточно высока прежде всего в связи с несбалансированностью её производства и потребления в отдельных регионах. В стране имеются энергоизбыточные регионы, энергетические мощности которых оказываются «запертыми» вследствие неразвитости необходимой инфраструктуры, сетей электропередач либо вследствие удалённости от потребителей, включая зарубежных. Особенно это относится к дальнему зарубежью. После распада СССР централизованное обеспечение энергетическими ресурсами многих бывших республик закончилось, в энергосистемах новых государств срочно принимались меры по обеспечению энергетической независимости, т. е. самобалансированности по энергии и топливообеспечению. Вместе с тем их стартовые позиции сильно различались, водные и энергетические режимы их энергообеспечения оказались несбалансированными, оптимальный режим функционирования системы в масштабах ОЭС был нарушен. В результате ни одна из региональных энергосистем не могла самостоятельно обеспечить полноценную надёжную работу по энергоснабжению своих потребителей.

В частности, например, в Средней Азии энергосистема южного Казахстана, объединяющего общей электросетью четыре области, не располагает достаточными энергоресурсами. Энергосистема севера Казахстана также не имеет возможности полностью обеспечить регион надёжным и устойчивым энергоснабжением. Энергосистема Кыргызстана избыточная, взаимодействует со всеми энергосистемами Центральной Азии в части торговли электроэнергией и оказания услуг по регулированию мощности. Энергосистема Таджикистана в летний период избыточна, в осенне-зимний период дефицитна; имеет взаимоотношения с энергосистемами Узбекистана, Кыргызстана, Казахстана в части торговли электроэнергией и оказания услуг по регулированию мощности. Энергосистема Узбекистана избыточна по количеству энергии и мощности, однако режим энергосистемы сильно зависит от топливообеспечения; взаимодействует с энергосистемами Таджикистана и Кыргызстана в части торговли электроэнергией и оказания услуг по транзиту.

В энергосистемах отдельных стран ЕврАзЭС имеют место следующие недостатки:

- изолированная работа приведёт к ещё большему усугублению проблем с обеспечением надежности энергоснабжения;
- невозможность оптимизации режимов приведёт к дополнительным потерям электроэнергии и перерасходу топлива и гидроресурсов;
- смена режима диспетчерского управления всей энергосистемой на режим локального управления приведёт к увеличению аварийных ситуаций и сроков их ликвидации.

Наличие избытков и/или дефицитов по электроэнергии и/или мощности в отдельных регионах требует консолидации и сотрудничества для получения взаимной выгоды, что обуславливает необходимость развития региональной торговли как внутри ОЭС, так и с другими смежными энергосистемами.

1. Система моделей формирования электроэнергетического рынка Евразийского экономического союза.

Формирование электроэнергетического рынка Евразийского экономического союза требует разработки Программы его организационно-институционального обеспечения [11, с. 16], состоящей из системы мероприятий  $j$ , направленных на решение таких задач, как:

- формирование системы актов, регулирующих общий электроэнергетический рынок Союза;
- формирование субъектного состава электроэнергетического рынка;
- формирование системы организации и управления в рамках общего электроэнергетического рынка Союза;
- формирование технологической основы общего электроэнергетического рынка Союза.

В Программу организационно-институционального обеспечения входят следующие мероприятия:

- разработка проекта международного договора о формировании общего электроэнергетического рынка Союза;
- разработка свода правил общего электроэнергетического рынка Союза;
- принятие актов, регулирующих общий электроэнергетический рынок Союза;
- подготовка предложений по организации централизованной торговли на сутки вперёд;
- формирование системы информационного обмена, обеспечивающей взаимодействие субъектов общего электроэнергетического рынка Союза;
- разработка электронной системы торговли, обеспечивающей проведение централизованных торгов по срочным контрактам;
- разработка электронной системы торговли, обеспечивающей проведение скоординированных торгов на сутки вперёд и др.

Мероприятия Программы организационно-институционального обеспечения обозначим  $i \in I^0$ . Эти мероприятия проводятся в две очереди  $I^0 = I_1^0 \cup I_2^0$ . Мероприятия первой очереди позволяют заключить предварительные договоры

о реализации рынка электроэнергии с предварительным расчётом межстрановых перетоков электроэнергии. Для обеспечения надёжного функционирования рынка электроэнергии в указанных пределах необходима модернизация магистральных электросетей, трансформаторных подстанций, оборудования для учёта и т. д., необходимо техническое развитие энергосистем в рамках каждой страны  $j=1,2,\dots,n$ .

Реализация мероприятий первой очереди  $i \in I_1^0$  позволяет начать выполнение инвестиционных программ развития энергосистем соответствующих стран  $j$ . Мероприятия инвестиционных программ развития энергосистем страны  $j$  обозначим  $i \in J_j$ .

После завершения инвестиционных программ развития энергосистем стран ЕврАзЭС  $j=1,2,\dots,n$  могут быть реализованы мероприятия второй очереди Программы организационно-институционального обеспечения  $i \in I_2^0$ .

По всем программным мероприятиям задаются продолжительность выполнения  $t_i$  и требуемые годовые затраты  $z_i$ . Мероприятия первой и второй очереди Программы организационно-институционального обеспечения поддерживаются с целевым финансированием от стран ЕврАзЭС. Объём финансирования инвестиционной программы развития энергосистемы страны  $j$  составляет  $B_{j\tau}$  в год  $\tau$ .

Задача состоит в поиске сроков начала и окончания мероприятий Программы, т. е. искомыми переменными являются моменты начала  $T_i^H$  и окончания  $T_i^k$  мероприятий программ. При определении моментов начала и окончания необходимо учесть особенности реализации рассматриваемых программ. Между первой и второй очередями Программы организационно-институционального обеспечения и инвестиционными программами развития энергосистем стран ЕврАзЭС должны быть выполнены следующие соотношения:

1. Условие начала мероприятий инвестиционных программ развития энергосистем стран  $j$

$$\max_{i \in I_1^0} \{T_i^k\} \leq \min_{j=1,2,\dots,n} \left\{ \min_{i \in J_j} [T_i^H] \right\} \quad (1).$$

2. Условие начала мероприятий второй очереди Программы организационно-институционального обеспечения после завершения инвестиционных программ развития энергосистем всех стран ЕврАзЭС, участвующих в создании рынка электроэнергии

$$\max_{j=1,2,\dots,n} \left\{ \max_{i \in J_j} [T_i^k] \right\} \leq \min_{i \in I_2^0} \{T_i^H\} \quad (2).$$

3. Условие завершения всех мероприятий второй очереди Программы организационно-институционального обеспечения к плановому сроку  $T^*$

$$\max_{i \in I_2^0} \{T_i^k\} \leq T^* \quad (3).$$

Для расчёта искомых сроков начала и окончания выполнения мероприятий следует прежде всего найти сроки выполнения мероприятий второй очереди Программы организационно-институционального обеспечения, поскольку все мероприятия должны быть завершены не позднее  $T^*$ . Для решения этой задачи предлагается следующая оптимизационная модель:

$$\min_{i \in I_2^0} \{T_i^H\} \rightarrow \max \quad (4),$$

$$T_i^H = T_i^k - t_i, \quad i \in I_2^0 \quad (5),$$

$$T_i^H \leq T_i^k, \quad i, i' \in I_2^0 \wedge (i, i') \in G(I_2^0) \quad (6),$$

$$\max_{i \in I_2^0} \{T_i^k\} \leq T^* \quad (7),$$

где  $G(I_2^0)$  – множество пар технологически взаимосвязанных мероприятий первой очереди программы  $(i, i')$ , т. е. для начала реализации мероприятия  $i'$  должно быть закончено мероприятие  $i$ .

Расчёт искомых моментов начала  $T_i^H$  и окончания  $T_i^k$  мероприятий второй очереди Программы организационно-институционального обеспечения проводится на основе прямого расчёта путём перебора мероприятий от конечного момента времени  $T^*$  к начальному с учётом  $G(I_2^0)$ .

После выполнения расчётов по моделям (4–7) необходимо провести расчёты сроков реализации мероприятий инвестиционных программ развития энергосистем для каждой страны ЕврАзЭС, участвующей в создании рынка электроэнергии. Модель, которая может быть положена в основу такого расчёта для страны  $j$ , имеет вид:

$$\min_{i \in J_j} \{T_i^i\} \rightarrow \max \quad (8),$$

$$T_i^H = T_i^k - t_i, \quad i \in J_j \quad (9),$$

$$T_i^H \leq T_i^k, \quad i, i' \in J_j \wedge (i, i') \in G(J_j) \quad (10),$$

$$\max_{i \in J_j} \{T_i^k\} \leq \min_{i \in I_2^0} \{T_i^H\} \quad (11),$$

$$\sum_{i \in G_{j\tau}} z_i \leq B_{j\tau}, \quad G_{j\tau} = \{i : i \in J_j \wedge T_i^H \leq \tau \leq T_i^k\}, \quad (12).$$

$$\tau = \min_{i \in I_2^0} \{T_i^H\} - 1, \min_{i \in I_2^0} \{T_i^H\} - 2, \dots$$

Для решения этой задачи могут быть использованы эвристические методы: метод последовательного назначения мероприятий в расписание; метод последовательного растяжения и др. [4, с. 137; 3, с. 419, 420]. Наиболее часто приме-

няется на практике метод последовательного назначения мероприятий в расписание. Этот метод, как и многие другие, предполагает построение расписания от начального момента времени до тех пор, пока не будут включены все мероприятия в расписание в рамках указанных в модели ограничений. Вместе с тем обычно применяемое на практике ограничение по сроку завершения программы  $\min_{i \in I_1^0} \{T_i^H\}$  является жестким и при использовании метода последовательного назначения может быть нарушено. Кроме того, априорно неизвестен начальный момент времени для построения инвестиционных программ развития. Указанные причины требуют модификации методов формирования расписания выполнения Программы.

Расчёт искомых сроков начала и окончания выполнения мероприятий первой очереди Программы организационно-институционального обеспечения проводится после определения сроков реализации мероприятий инвестиционных программ развития энергосистем для каждой страны ЕврАзЭС, участвующей в создании рынка электроэнергии. Модель расчёта сроков начала и окончания выполнения мероприятий первой очереди Программы организационно-институционального обеспечения имеет вид:

$$\min_{i \in I_1^0} \{T_i^H\} \rightarrow \max \quad (13)$$

$$T_i^H = T_i^k - t_i, \quad i \in I_1^0 \quad (14)$$

$$T_i^H \leq T_{i'}^k, \quad i, i' \in I_1^0 \wedge (i, i') \in G(I_1^0) \quad (15)$$

$$\max_{i \in I_1^0} \{T_i^k\} \leq \min_{j=1,2,\dots,n} \left\{ \min_{i \in J_j} [T_i^H] \right\} \quad (16)$$

Расчёт искомых моментов начала  $T_i^H$  и окончания  $T_i^k$  мероприятий первой очереди Программы организационно-институционального обеспечения проводится на основе прямого расчёта путём перебора мероприятий от конечного момента времени  $\min_{j=1,2,\dots,n} \left\{ \min_{i \in J_j} [T_i^H] \right\}$  к начальному с учётом  $G(I_1^0)$ .

2. Повышение надёжности выполнения требуемых сроков реализации программных мероприятий по причине расчёта резервов времени.

В процессе реализации программных мероприятий возможны задержки или увеличение сроков их реализации вследствие воздействия негативных факторов. Для повышения надёжности выполнения Программы в заданные сроки предлагается провести оценку возможного роста времени реализации программных мероприятий. Величина возможного роста времени реализации мероприятия должна быть использована в качестве включаемого в формируемую программу резерва времени мероприятий. Эти резервы времени позволяют уточнить условия (5; 9; 14) формирования Программы следующим образом:  $T_j^k = T_j^H - t_j - r_j$ . На величину резерва времени мероприятия влияет оценка возможности увеличения продолжительности мероприятия вследствие технических, политических,

экономических и экологических факторов ( $p=1,2,3,4$ ) [9, с. 364]. Для оценки влияния этих факторов на возможное запаздывание или увеличение продолжительности мероприятия предлагается использование следующего подхода. Следует задать максимальную величину роста продолжительности программного мероприятия –  $\alpha_i^{\max}$  ( $\alpha_i^{\max} > 1$ ). Для оценки величины роста продолжительности по каждому из четырёх указанных выше факторов ( $p=1,2,3,4$ ) необходимо экспертно оценить рост времени реализации рассматриваемого мероприятия  $i$  –  $\alpha_{pi}$ .

Эксперты, как правило, используют наиболее простое представление нечётких чисел – треугольные числа. На основе данных, получаемых от эксперта, можно построить функцию принадлежности треугольного или трапециевидного числа [13, с. 94]. Для формирования треугольного числа достаточно иметь диапазон изменения рассматриваемого параметра  $[q, \bar{q}]$ , количество лингвистических термов, с помощью которых оценивается параметр  $q$ , название каждого лингвистического терма. Треугольной формой нечёткого числа  $\tilde{q}$  назовём тройку вида:  $\tilde{q} = (\underline{q}, \hat{q}, \bar{q})$ , в которой  $\underline{q}$  – нижняя (верхняя) граница нечёткого числа для уровня  $\alpha=0$ ;  $\hat{q}$  – значение нечёткого числа на уровне  $\alpha=1$ . Такое треугольное число задается функцией принадлежности  $\mu(q)$ , определяемой аналитически следующим образом:

$$\mu(q) = \begin{cases} 0, & q < \underline{q} \\ \frac{q - \underline{q}}{\hat{q} - \underline{q}}, & \underline{q} \leq q \leq \hat{q} \\ \frac{\hat{q} - q}{\hat{q} - \bar{q}}, & \hat{q} \leq q \leq \bar{q} \\ 0, & q > \bar{q} \end{cases} \quad (17)$$

Носителем нечёткого числа  $\tilde{q}$  является интервал  $[\underline{q}, \bar{q}]$ , а ядром – число  $\hat{q}$  [17, с. 251]. Для проведения экспертной оценки предлагается использование шкалы оценок влияния факторов на рост продолжительности реализации  $i$ -го программного мероприятия (табл. 1) с 5 основными лингвистическими термами и 4 промежуточными. Исходя из количества основных термов, получаем шаг оценки роста продолжительности реализации  $i$ -го программного мероприятия равным  $\Delta_i = \frac{\alpha_i^{\max}}{4}$ .

Для каждой из полученных интервальных оценок предлагается найти среднее значение, т. е. ядро интервала неопределённости  $a_{\tilde{q}}^* = \frac{a_{\tilde{q}}^{\text{left}} + a_{\tilde{q}}^{\text{right}}}{2}$ . В результате будут получены треугольные числа  $\hat{a}_{\tilde{q}} = (a_{\tilde{q}}^{\text{left}}, a_{\tilde{q}}^*, a_{\tilde{q}}^{\text{right}})$  со значениями  $\mu(a_{\tilde{q}}^{\text{left}}) = 0$ ;  $\mu(a_{\tilde{q}}^*) = 1$ ;  $\mu(a_{\tilde{q}}^{\text{right}}) = 0$ . Эти числа соответствуют лексическим оценкам экспертов по шкале, представленной в табл. 1.

Таблица 1

**Шкала для проведения оценки влияния факторов на рост  
продолжительности реализации  $i$ -го мероприятия**

Номера оценок ( $\zeta$ )	Лингвистические термины	Границы оценки	
		левая	правая
1	Продолжительность мероприятия $i$ не изменится	$a_{1i}^{left} = 0$	$a_{1i}^{right} = 0,5\Delta_i$
3	Продолжительность мероприятия $i$ незначительно увеличится	$a_{3i}^{left} = 0,5\Delta_i$	$a_{3i}^{right} = 1,5\Delta_i$
5	Продолжительность мероприятия $i$ увеличится на среднюю от максимума величину	$a_{5i}^{left} = 1,5\Delta_i$	$a_{5i}^{right} = 2,5\Delta_i$
7	Продолжительность мероприятия $i$ значительно увеличится	$a_{7i}^{left} = 2,5\Delta_i$	$a_{7i}^{right} = 3,5\Delta_i$
9	Продолжительность мероприятия $i$ максимально возрастет	$a_{9i}^{left} = 3,5\Delta_i$	$a_{9i}^{right} = 4\Delta_i$
2, 4, 6, 8	Промежуточные решения между соседними оценками	$a_{\zeta i}^{left} = \frac{a_{(\zeta-1)i}^{left} + a_{(\zeta+1)i}^{left}}{2}$	$a_{\zeta i}^{right} = \frac{a_{(\zeta-1)i}^{right} + a_{(\zeta+1)i}^{right}}{2}$

На основе приведенной шкалы эксперты  $s=1,2,\dots,S$  проводят оценку изменения продолжительности выполнения мероприятий для каждого фактора ( $p=1,2,3,4$ ). Если эксперт  $s$  выбирает оценку  $\zeta$  для фактора  $p$ , то имеем  $\hat{b}_{spi} = \hat{a}_{\zeta i}$ . Поскольку каждый из экспертов выбирает один из вариантов  $\zeta=1,2,\dots,9$  оценок шкалы, то полученные от экспертов оценки соответствуют треугольным числам  $\hat{b}_{spi} = (b_{spi}^{left}, b_{spi}^*, b_{spi}^{right})$ . Исходя из полученных оценок, можно определить треугольную оценку предполагаемого роста продолжительности работы  $i$  под влиянием фактора  $p$  по формуле:

$$\hat{b}_{pi} = \frac{\sum_{s=1}^S \hat{b}_{spi}}{S} \quad (18).$$

Среди полученных пофакторных оценок следует выбрать фактор  $p^*$ , обеспечивающий максимальный рост продолжительности мероприятия. Для сравнения нечётких чисел разработано значительное число методов, которые могут быть распределены по следующим пяти группам [2, с. 43, 44]:

1. Методы с использованием  $\alpha$ -срезов. Обычно такие методы применяются с целью быстрого получения результатов.

2. Лингвистические (теоретико-множественные) методы – множества сравниваются на основе степени их эквивалентности. Результат сравнения также является нечётким и описывается лингвистической переменной.

3. Метрические методы – для сравнения множеств вводится некоторая функция расстояния, характеризующая схожесть чисел. Сюда также относятся методы, сравнивающие нечёткие числа на основании их комбинаций.

4. Интегральные методы – нечёткие множества упорядочиваются на основании своих «средних» чётких значений, которые могут быть получены различными способами.

5. Многомерные методы – для сравнения множеств с целью уменьшения вероятности ошибки используются сразу несколько индексов ранжирования / метрик, поскольку ни один из известных методов сравнения не застрахован от случайно допущенных неверных результатов.

В случае полученных треугольных чисел интерес представляют 1, 3 и 4 группы методов. В рамках этих групп были рассмотрены следующие методы сравнения нечётких чисел:

1. оценка с помощью центроидного метода [16, р. 43];
2. сравнение на основе построения максимизирующей и минимизирующей нечётких точек [14, р. 765];
3.  $\alpha$ -взвешенное сравнение нечётких чисел с использованием оценочной функции [15, р. 574];
4.  $\alpha$ -уровневое сравнение нечётких чисел [5, с. 104].

Для сравнения треугольных чисел предлагается использование метода, близкого к  $\alpha$ -взвешенному сравнению нечётких чисел [10, с. 31], суть которого состоит в следующем. Для треугольного числа  $\hat{b}_{pi} = (b_{pi}^{left}, b_{pi}^*, b_{pi}^{right})$ , множеством  $\alpha$ -уровня является интервал  $[A_{left}(\alpha), A_{right}(\alpha)]$ . Границы этого интервала могут быть определены следующим образом:  $A_{left}(\alpha) = b_{pi}^{left} + (b_{pi}^* - b_{pi}^{left})\alpha$ ;  $A_{right}(\alpha) = b_{pi}^{right} - (b_{pi}^{right} - b_{pi}^*)\alpha$ . На уровне имеем расстояние между левой границей и нулем  $A_{left}(\alpha)$ , между правой границей и нулём  $A_{right}(\alpha)$ . Тогда расстояние между интервалом  $[A_{left}(\alpha), A_{right}(\alpha)]$  и началом координат будет равно  $\rho(A(\alpha), 0) = 0,5(A_{left}(\alpha) + A_{right}(\alpha))$ . Проводя интегрирование по всем уровням  $\alpha$ , получаем расстояние между нечётким числом  $\hat{b}_{pi} = (b_{pi}^{left}, b_{pi}^*, b_{pi}^{right})$  и началом координат:

$$\begin{aligned} \rho(\hat{b}_{pi}, 0) &= \int_0^1 d([A_{left}(\alpha), A_{right}(\alpha)], 0) d\alpha = \int_0^1 [A_{left}(\alpha) + A_{right}(\alpha)] d\alpha = \\ &= 0,25(b_{pi}^{left} + 2b_{pi}^* + b_{pi}^{right}) \end{aligned} \quad (19).$$

Используя расстояния для нечётких чисел, характеризующих предполагаемый рост продолжительности мероприятия  $i$  по каждому из четырёх факторов  $p = 1, 2, 3, 4$ , следует выбрать максимальную оценку:

$$\rho(\hat{b}_{p^*i}, 0) = \max_{p=1,2,3,4} \{0,25(b_{pi}^{left} + 2b_{pi}^* + b_{pi}^{right})\} \quad (20)$$

Исходя из предполагаемого роста продолжительности мероприятия  $\hat{b}_{p^*i}$ , можно определить оценку резерва времени, который должен быть заложен

в Программу организационно-институционального обеспечения при определении сроков реализации мероприятий, в виде треугольного числа по формуле:

$$\hat{r}_i = t_i \hat{b}_{p_i} = (r_i^{left}, r_i^*, r_i^{right}) \quad (21)$$

Исходя их полученной нечёткой оценки резерва времени на базе работ [8, с. 1–3; 6, с. 35], можно построить риск-функцию резерва времени мероприятия  $i$ , которая показывает степень уверенности в достижении соответствующего значения анализируемого показателя. Риск-функция оценки резерва времени мероприятия  $i$  определяется по формуле:

$$Pr_i(g) = \begin{cases} 1, & g < r_i^{left} \\ 1 - R \times \left(1 + \frac{1 - \alpha_1}{\alpha_1} \times \ln(1 - \alpha_1)\right), & r_i^{left} \leq g < r_i^* \\ (1 - R) \times \left(1 + \frac{1 - \alpha_1}{\alpha_1} \times \ln(1 - \alpha_1)\right), & r_i^* \leq g < r_i^{right} \\ 0, & g \geq r_i^{right} \end{cases} \quad (22),$$

где  $R_i(g)$  и  $\alpha_i(g)$  определяются по формулам:

$$R_i(g) = \begin{cases} \frac{g - r_i^{left}}{r_i^{right} - r_i^{left}}, & g < r_i^{right} \\ 1, & g \geq r_i^{right} \end{cases} \quad (23),$$

$$\alpha_i(g) = \begin{cases} 0, & g < r_i^{right} \\ \frac{g - r_i^{left}}{r_i^* - r_i^{left}}, & r_i^{left} \leq g < r_i^{right} \\ 1, & g = r_i^* \\ \frac{r_i^{right} - g}{r_i^{right} - r_i^*}, & r_i^* < g < r_i^{right} \\ 0, & g \geq r_i^{right} \end{cases} \quad (24).$$

В работе А.О. Недосекина [7] предлагает воспользоваться предельным значением потери степени уверенности  $g^{stop}=0,2$  (т. е. уверенность 80%) для дальнейшего использования анализируемого параметра. В дальнейшем предлагаем это предельное значение применять для расчёта оцениваемого резерва времени реализации мероприятия из диапазона, задаваемого нечётким треугольным числом.

3. Практическое применение метода расчёта резервов времени для мероприятий Программы формирования рынка электроэнергии стран Евразийского экономического союза.

Рассмотрим мероприятие  $i$  продолжительностью  $t_i = 6$  месяцев, для которого была получена оценка максимальной величины роста продолжительности  $\alpha_i^{max}=2$  (табл. 2).

Таблица 2

Оценки для мероприятия  $i$  при  $\alpha_i^{\max}=2$ .

Номер	Комментарий	$r_i^{\text{left}}$	$r_i^*$	$r_i^{\text{right}}$
1	Продолжительность мероприятия $i$ не изменится	0,00	0,00	0,25
2	Промежуточное решение	0,00	0,25	0,50
3	Продолжительность мероприятия $i$ незначительно увеличится	0,25	0,50	0,75
4	Промежуточное решение	0,50	0,75	1,00
5	Продолжительность мероприятия $i$ увеличится на среднюю от максимума величину	0,75	1,00	1,25
6	Промежуточное решение	1,00	1,25	1,50
7	Продолжительность мероприятия $i$ значительно увеличится	1,25	1,50	1,75
8	Промежуточное решение	1,50	1,75	2,00
9	Продолжительность мероприятия $i$ максимально возрастет	1,75	2,00	2,00

После проведения экспертных оценок по четырём факторам и обработки данных по формулам (5, 6) получено треугольное число (рис. 1), оценивающее рост продолжительности мероприятия:

$$\hat{b}_{p_i} = (1,58; 1,83; 2,00)$$



Рис. 1. Оценка роста продолжительности рассматриваемого мероприятия в виде треугольного числа

На основе формул (22–24) следует провести расчёт степени уверенности оценки роста мероприятия, результаты которого представлены на рис. 2.

Таблица 3

### Результаты расчёта для построения графика вероятностной оценки роста мероприятия

Названия показателей	Координаты точек x для построения графика								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Оценка роста продолжительности мероприятия $g_x$ , месяцы	9,50	9,81	10,13	10,44	10,75	11,06	11,38	11,69	12,00
Степень уверенности $Pr(g_x)$ , доли	0	0,01	0,06	0,15	0,32	0,69	0,90	0,98	1,00

На этом графике можно определить ожидаемую оценку роста продолжительности мероприятия, которую следует заложить в формируемый график в качестве временного резерва, для заданной величины вероятности. При оценке инвестиционных проектов такая величина принимается равной 80%. Тогда оценка роста продолжительности рассматриваемого мероприятия, т. е. резерв времени мероприятия, будет находиться между 11,0 и 11,5 месяцами. Для точного расчёта предлагается использование формулы аппроксимации между ближайшими к 0,8 точкам:

$$r_i = g_6 + \frac{g_7 - g_6}{Pr(g_7) - Pr(g_6)} (0,8 - Pr(g_6)) \quad (25)$$

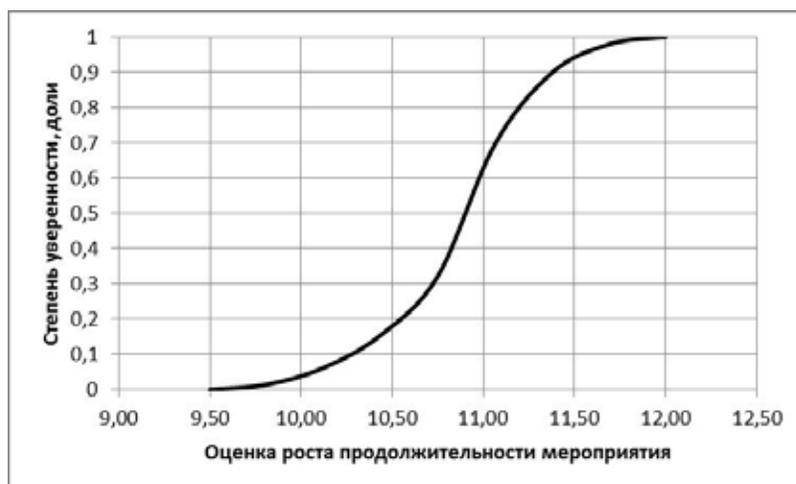


Рис. 2. Оценка степени уверенности роста продолжительности рассматриваемого мероприятия (резерва времени)

В результате проведённого расчёта по формуле (25) резерв времени работы оказался равным 11,2 месяца. Этот резерв должен быть заложен в расписание реализации Программы организационно-институционального обеспечения при формировании рынка электроэнергии стран Евразийского экономического союза.

Предложенный метод расчёта резервов времени был апробирован при создании Программы формирования рынка электроэнергии стран Евразийского

экономического союза. Заложенные резервы позволят обеспечить реализацию Программы в требуемые сроки с учётом возможных негативных факторов, препятствующих этой реализации. Полученные резервы времени мероприятий отличаются от временных резервов (частных резервов, полного резерва, свободного резерва) сетевых графов, в которых эти резервы получаются за счёт топологии графа и продолжительности его работ. Предложенный расчёт даёт возможность найти и заложить в Программу резервы, соответствующие сложности реализации работы с учётом негативных факторов.

Представленный метод расчёта резервов времени работ на мероприятиях может быть использован при формировании целевых Программ межстранового, федерального или регионального уровней. Это позволит повысить устойчивость процесса реализации Программ к различного рода негативным факторам, препятствующим выполнению программных мероприятий в заданные сроки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Внешнеэкономический комплекс России 2008. Вып. 1. М.: ВНИКИ, 2008. № 1. 81 с.
2. Воронцов Я.А., Матвеев М.Г. Методы параметризованного сравнения нечётких треугольных и трапециевидных чисел // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. 2014. № 2. С. 90–97.
3. Экология и экономика природопользования: Учебник для вузов / Под ред. проф. Э.В. Гирусова, проф. В.Н. Лопатина. М.: ЮНИТИ, 2012. 607 с.
4. Кочкаров Р.А. Целевые программы: инструментальная поддержка. М.: Экономика, 2007. 223 с.
5. Лебедев Г.Н., Матвеев М.Г., Семенов М.Е., Канищева О.И. Методы решения задач управления предприятием в условиях расплывчатой неопределенности // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. 2012. № 1. С.102–106.
6. Недосекин А.О. Оценка риска бизнеса на основе нечетких данных. Монография. СПб.: Сезам, 2004. 100 с.
7. Недосекин А.О. Оценка риска проекта по NPV произвольно-нечеткой формы [Электронный ресурс]. // URL: [http://sedok.narod.ru/sc\\_group.html](http://sedok.narod.ru/sc_group.html) (Дата обращения: 02.02.2017).
8. Недосекин А.О. Риск-функция инвестиционного проекта [Электронный ресурс]. // Pandia: [сайт] URL: <http://pandia.ru/text/77/400/44470.php> (дата обращения: 02.02.2017).
9. Новоселов А.Л., Медведева О.Е., Новоселова И.Ю. Экономика, организация и управление в области недропользования. М.: Юрайт, 2015. 625 с.
10. Птускин А.С. Нечеткие модели и методы в менеджменте. М.: Издательство Московского государственного технического университета им. Баумана, 2008. 215 с.
11. Развитие электроэнергетики в России за 2014 год [Электронный ресурс] // Национальное рейтинговое агентство: [сайт] URL: <http://www.ra-national.ru/sites/default/files/other/55.pdf> (дата обращения: 20.12.2016).
12. Российский статистический ежегодник 2007: стат. сб.. М.: Росстат, 2007. 825 с.
13. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети. Винница.: УНИВЕРСУМ-Винница, 1999. 320 с.
14. Abbasbandy S. and oth. Ranking fuzzy numbers using fuzzy maximizing-minimizing points // Proceedings of the 7th conference of the European Society for Fuzzy Logic and

Technology (EUSFLAT–1022) and LFA-2011. Amsterdam; Paris: Atlantis Press, 2011. P. 763–769.

15. Detyniecki M., Yager R.R. Ranking fuzzy numbers using  $\alpha$ -weighted valuations // International journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based systems. 2001. Vol. 8 (5), P. 573–592.
16. Rao P.P.B., Shankar N.R. Ranking generalized fuzzy numbers using area, mode, spreads and weight // International Journal of Applied Science and Engineering. 2012. Vol. 1. No. 10. P. 41–57.
17. Rotshtein A. Fuzzy Reliability Analysis of Man-Machine Systems. // Reliability and Safety Analysis under Fuzziness. Series: studies in Fuzziness and Soft Computing. Vol. 4. Heidelberg: Physica-Verlag, A Springer Verlag Company, 1995. P. 245–270.

#### REFERENCES

1. *Vneshneekonomicheskii kompleks Rossii 2008. Vyp. 1.* [Foreign Economic Complex of Russia in 2008. Vol. 1]. Moscow, VNIKI Publ., 2008. 81 p.
2. Vorontsov Ya.A., Matveev M.G. Methods of a parameterized comparison of fuzzy triangular and trapezoidal numbers. In: *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Sistemnyi analiz i informatsionnye tekhnologii* [Bulletin of Voronezh State University. Series: System Analysis and Information Technology], 2014, no. 2, pp. 90–97.
3. Girusov E.V. and oth. *Ekologiya i ekonomika prirodopol'zovaniya* [Ecology and Environmental Economics]. Moscow, YUNITI Publ., 2012. 607 p.
4. Kochkarov R.A. *Tselevye programmy: instrumental'naya podderzhka* [Purpose Programs: Instrumental Support]. Moscow, Ekonomika Publ., 2007. 223 p.
5. Lebedev G.N., Matveev M.G., Semenov M.E., Kanishcheva O.I. Methods of solving enterprise management problems in the conditions of vague uncertainty. In: *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Sistemnyi analiz i informatsionnye tekhnologii* [Bulletin of Voronezh State University. Series: System Analysis and Information Technology], 2012, no. 1, pp. 102–106.
6. Nedosekin A.O. *Otsenka riska biznesa na osnove nechetkikh dannykh.* [The Assessment of Business Risk Based on Fuzzy Data. Monograph]. St. Petersburg, Sezam Publ., 2004. 100 p.
7. Nedosekin A.O. Otsenka riska proekta po NPV proizvol'no-nechetkoi formy [Risk Assessment of the Project of NPV Random Fuzzy Shapes]. Available at: [http://sedok.narod.ru/sc\\_group.html](http://sedok.narod.ru/sc_group.html) (accessed 02.02.2017).
8. Nedosekin A.O. The Risk Function of an Investment Project. In: Pandia. Available at: <http://pandia.ru/text/77/400/44470.php> (accessed 02.02.2017).
9. Novoselov A.L., Medvedeva O.E., Novoselova I.Yu. *Ekonomika, organizatsiya i upravlenie v oblasti nedropol'zovaniya* [Economics, Organization and Management in the Field of Subsoil Use]. Moscow, Yurait Publ., 2015. 625 p.
10. Ptuskin A.S. *Nechetkie modeli i metody v menedzhmente* [Fuzzy Models and Methods in Management]. Moscow: Publishing of Bauman Moscow State Technical University Publ., 2008. 215 p.
11. The Development of Power Industry in Russia in 2014. In: Natsional'noe reitingovoe agentstvo [The National Rating Agency]. Available at: <http://www.ra-national.ru/sites/default/files/other/55.pdf> (accessed 20.12.2016).
12. *Rossiiskii statisticheskii ezhegodnik 2007* [Russian Statistical Yearbook 2007]. Moscow, Rosstat Publ., 2007. 825 p.
13. Rotshtein A.P. *Intellektual'nye tekhnologii identifikatsii: nechetkaya logika, geneticheskie algoritmy, neironnye seti* [Intelligent Identification Technologies: Fuzzy Logic, Genetic Algorithms, Neural Networks]. Vinnitsa, UNIVERSUM–Vinnitsa Publ., 1999. 320 p.

14. Abbasbandy S. and oth. Ranking fuzzy numbers using fuzzy maximizing-minimizing points. In: Proceedings of the 7th conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology (EUSFLAT-1022) and LFA-2011. Amsterdam; Paris, Atlantis Press Publ., 2011. pp 763–769.
15. Detyniecki M., Yager R.R. Ranking fuzzy numbers using  $\alpha$ -weighted valuations. In: International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based systems, 2001, vol. 8 (5), pp. 573–592.
16. Rao P.P.B., Shankar N.R. Ranking generalized fuzzy numbers using area, mode, spreads and weight. International Journal of Applied Science and Engineering. 2012, vol. 1, no. 10, pp 41–57.
17. Rotshtein A. Fuzzy Reliability Analysis of Man-Machine Systems. In: Reliability and Safety Analysis under Fuzziness and Soft Computing. Series: studies in Fuzziness. Vol. 4. Phisica-Verlag. Heidelberg, 1995, pp. 245–270.

---

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

*Ховенталь Петр Андреевич* – студент экономического факультета Московского физико-технического института (государственного университета);  
e-mail: peterhovental@gmail.com

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

*Peter A. Khovental* – Student of Moscow Institute of Physics and Technology;  
e-mail: peterhovental@gmail.com

---

#### ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА

Кузнецов Н.А., Ховенталь П.А. Особенности разработки комплексной программы формирования электроэнергетического рынка Евразийского экономического союза // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Экономика. 2017. № 2. С. 26-40.  
DOI: 10.18384/2310-6646-2017-2-26-40

#### CORRECT REFERENCE

Kuznetsov N.A., Khovental P.A. Features of the Development of a Comprehensive Program of Formation of Energy Market of the Eurasian Economic Union. *Bulletin of Moscow Region State University. Series: Economics*, 2017, no. 2, pp. 26-40.  
DOI: 10.18384/2310-6646-2017-2-26-40