

УДК 330.46+51-77

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ РИСК-МЕНЕДЖМЕНТА В КОМПАНИЯХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СЕКТОРА\*

**Г.И. ГОРЕМЫКИНА,**  
кандидат физико-математических наук,  
доцент кафедры прикладной математики  
E-mail: g\_iv.05@mail.ru

**И.Н. МАСТЯЕВА,**  
кандидат технических наук, доцент,  
заведующая кафедрой прикладной математики  
E-mail: imastyaeva@mesi.ru  
Московский государственный университет  
экономики, статистики и информатики

**А.А. ФЕДОРЧУК,**  
кандидат экономических наук, аналитик  
АНО «Оргкомитет ОФЛ»  
E-mail: anna.fedorchuk.86@mail.ru

*Целевой прогнозный топливно-энергетический баланс России на период до 2035 г. предусматривает опережающее развитие электроэнергетики для реализации масштабной электрификации национального хозяйства с ростом установленной мощности электростанций более чем на 1/3 и увеличением выработки электроэнергии в 1,6 раза. Изменение условий функционирования оказывает непосредственное влияние на состояние каждого объекта электроэнергетики. Поэтому в настоящее время в России происходит реформирование электроэнергетики: либерализация оптового рынка электроэнергии, введение программы энергосбережения и энергоэффективности, изменение тарифного регулирования и создание оптового рынка мощности. Вследствие этого компаниям требуются новые инструменты и технологии для перехода от регулируемого рынка к конкурентному, который характеризуется приня-*

*тием управленческих решений в условиях неопределенности, возникает потребность прогнозирования возможных потерь, а значит создания системы риск-менеджмента.*

*В статье разработана методология нечеткого моделирования оценки и управления рисками электроэнергетической компании, проведено моделирование оценки рисков электроэнергетической компании для построения оптимальной стратегии ее поведения на рынке. Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие задачи, а именно: проведено исследование и сравнение различных подходов к моделированию системы риск-менеджмента в зависимости от количества и качества входных данных; построена модель нечетко-логической системы управления рисками электроэнергетической компании на основе ключевых показателей и проведено моделирование ее параметров.*

*Построена модель системы риск-менеджмента. В модели применена схема нечеткого вывода по Мамдани по экспертным нечетким базам знаний. Процесс разработки системы реализован в среде MatLab с*

\* Статья подготовлена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 14-06-00240).

использованием пакета *Fuzzy Logic Toolbox*. Даны практические рекомендации по методике построения указанной системы, проведено моделирование ее параметров.

Практическая значимость исследования заключается в возможности применения построенной системы как универсального средства для определения оценки риска и формирования комплекса мер по его минимизации.

**Ключевые слова:** риск, ключевые показатели риска, оценка риска, вероятностные модели, нечеткая технология

## Введение

В ходе мониторинга Энергетической стратегии России на период до 2030 года, утвержденной распоряжением Правительства РФ от 13.11.2009 № 1234-р (далее – ЭС), была установлена довольно высокая степень соответствия большинства ее основных положений реальному процессу развития энергетического сектора страны. При этом планировалось вносить необходимые коррективы в указанную ЭС не реже одного раза в 5 лет. Основное изменение прогноза в ЭС на период до 2035 г. (проект) заключается в том, что кризис стал не только фактором временного ослабления экономической активности, но и причиной среднесрочного замедления темпов экономического роста вследствие усиления долгосрочных структурных и институциональных ограничений развития российской экономики. В связи с этим перспективы роста ВВП и внутреннего потребления энергоносителей значительно понижены по сравнению с ЭС-2030 (в базовом для ЭС-2035 инновационном сценарии среднегодовые темпы роста в 2013–2035 гг. составят 3,8%, а в консервативном риск-сценарии – 2,8%).

Целевой прогнозный топливно-энергетический баланс России на период до 2035 г. предусматривает опережающее развитие электроэнергетики для реализации масштабной электрификации национального хозяйства с ростом установленной мощности электростанций более чем на 1/3 и увеличением выработки электроэнергии в 1,6 раза. Изменение условий функционирования оказывает непосредственное влияние на состояние каждого объекта электроэнергетики. Поэтому в настоящее время в России происходит реформирование электроэнергетики, которое включает либерализацию оптового рынка электроэнергии, введение программы энергосбережения и энергоэффективности, изменение тарифного регулирования и создание оптового рынка мощности. Вследствие этого компаниям требуются новые инструменты и технологии для перехода от

регулируемого рынка к конкурентному, который характеризуется принятием управленческих решений в условиях неопределенности. Закономерно возникает потребность прогнозирования возможных потерь, а значит, и создания системы риск-менеджмента. Оценка рисков и разработка мероприятий по управлению рисками позволяет компании выстраивать оптимальную стратегию поведения на рынке и оценивать величину необходимого капитала для покрытия возможных потерь.

## Обоснование выбора предлагаемой модели

Существуют различные подходы к моделированию экономических систем [3, 7, 8, 11–14]. При достаточных объемах статистических данных (когда значения параметров законов распределения случайной величины известны) для оценки рисков электроэнергетических компаний используют вероятностные модели<sup>1</sup> [16], описывая риск функцией распределения вероятностей потерь как зависимость между случайной величиной возможных потерь  $U$  и вероятностью того, что потери не превысят данную величину  $x$ :

$$F(x) = P(U < x).$$

Вероятностные модели при малых объемах статистических данных, что характерно для электроэнергетики вследствие реформирования этой отрасли и зависимости от государственного регулирования, имеют свою специфику. Они требуют определения законов распределения случайной величины. Например, в работе А.А. Федорчук «Моделируемые и немоделируемые риски энергетической компании» [15] в качестве законов распределения предлагается использовать следующие.

1. *Распределение Пуассона.* Это дискретное распределение с функцией вероятности

$$P(n) = \frac{\lambda^n}{n!} \cdot e^{-\lambda},$$

где  $\lambda$  – интенсивность, которая рассчитывается как среднее арифметическое экспертных оценок минимальной и максимальной частот фактора;  $n_i$  – частота влияния  $i$ -го фактора на наступление рискового события за год;  $n$  – общее количество наступлений рискового события за один год под влиянием всех факторов, причем  $n = \sum_i n_i$ .

<sup>1</sup> Федорчук А.А. Стратегия генерирующей компании на оптовом рынке электроэнергии // Экономика, статистика и информатика. Вестник УМО. 2010. № 6.

2. *Биномиальное распределение.* Это дискретное распределение с функцией вероятности

$$P(k) = C_N^k p^k (1-p)^{N-k},$$

где  $p$  – вероятность единичной реализации последствия при условии наступления данного рисковог о события;

$C_N^k$  – биномиальный коэффициент для оценки  $k = k_j$  – количества реализаций  $j$ -го последствия за год при  $N$  наступивших за год рисковог о событий.

3. *Экстремальное распределение.* Это непрерывное распределение с функцией распределения

$$F(x, \mu, \sigma) = e^{-e^{-\frac{x-\mu}{\sigma}}}$$

для оценки  $U_j$  – убытка от единичной реализации  $j$ -го последствия.

4. *Обобщенное экстремальное распределение* с функцией распределения

$$F(x, \mu, \sigma) = e^{-\left(1 + \xi \left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right)^{\frac{1}{\xi}}}$$

где  $\xi$  – параметр формы распределения (оценка параметра  $\xi$  должна быть обоснована). При  $\xi \rightarrow 0$  обобщенное экстремальное распределение переходит в обычное экстремальное.

Задача усложняется в тех случаях, если оценки рисков приходится производить при наличии следующих факторов:

- полное отсутствие статистических данных;
- ограниченность информации, приводящая к неустойчивости получаемых распределений вероятностей;
- учет факторов неопределенности, имеющих отличную от статистической природу (субъективные оценки, экспертно-лингвистическая неопределенность и пр.).

Использование в вероятностных моделях вместо неточно известных количественных данных их средних значений может привести при недостаточных объемах статистики к решению несуществующей в действительности проблемы и получению недопустимого для реальной ситуации решения [1, 4].

Поэтому предлагаются модель и методика определения оценки рисков электроэнергетических компаний, основанные на применении нечеткой технологии (fuzzy-технологии). Нечеткая технология – это совокупность алгоритмов, процедур и программных средств, базирующихся на использовании нечетких множеств, нечеткой логики, нечеткого моделирования и пр. Математическим обоснованием возможности применения нечеткой технологии для моделирования

систем служит теорема о нечеткой аппроксимации (Fuzzy Approximation Theorem), доказанная Б. Коско в 1993 г. Приведем ее формулировку: «Любая математическая система может быть аппроксимирована системой на нечеткой логике» [19].

### Моделирование системы оценки риска

Проведем формализацию процесса определения величины риска электроэнергетической компании (без уточнения вида риска) с помощью лингвистической переменной, для этого определим следующее:

- имя лингвистической переменной:  $R$  – риск электроэнергетической компании;
- терм-множество:  $T = \{\text{«низкий риск»} - T_1, \text{«средний риск»} - T_2, \text{«высокий риск»} - T_3\}$ ;
- универсальное множество:  $X = [0; 1]$ , на котором задаются терм-множества с треугольными функциями принадлежности  $\mu_1(x)$ ,  $\mu_2(x)$ ,  $\mu_3(x)$  (рис. 1);
- синтаксические правила  $G$ , позволяющие образовывать новые термы «не  $T_i$ »; «очень  $T_i$ »; «не очень  $T_i$ », имеющие соответственно следующие функции принадлежности:  $1 - \mu_i(x)$ ;  $(\mu_i(x))^2$ ;  $(\mu_i(x))^{1/2}$ , где  $i = 1, 2, 3$ ;
- семантические правила  $M$ : процедура объединения термов  $T_1, T_2, T_3$  терм-множества  $T$ , заданных на универсальном множестве  $X = [0; 1]$  с учетом  $G$ .

Заключение о риске эксперты делают на основании анализа ключевых показателей риска (КПР). Основной задачей при разработке ключевых показателей риска является выявление и отбор ряда критериев, однозначно характеризующих динамику данной категории риска и позволяющих в полной мере описать эти изменения. Условием отбора является возможность количественно или описательно фиксировать изменение данного вида риска, делая это с помощью количественных показателей или качественных формулировок.

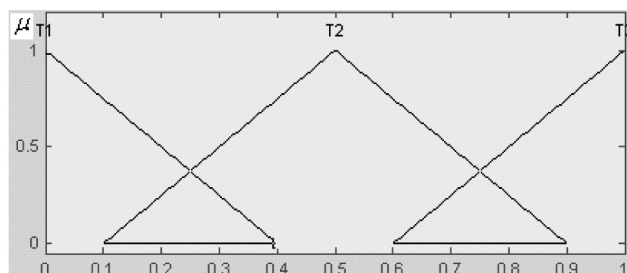


Рис. 1. Функции принадлежности подмножеств терм-множества  $R$

Данные критерии, отвечающие условию отбора, будут включены в перечень КПП рассматриваемой группы риска. Например, для технологического риска электроэнергетической компании ключевыми показателями могут быть: количество аварий, инцидентов; расходы на восстановление оборудования вследствие аварий; количество отказов оборудования; продолжительность или количество внеплановых ремонтов оборудования; продолжительность простоев технологического процесса.

Если рассмотреть рисковое поле электростанции и выбрать, например, риск нарушения в работе генератора, то для него КПП являются следующие: разрушение бандажных колец; несвоевременное проведение аудита или испытаний оборудования; износ или несвоевременная замена контактных колец; повреждение возбuditеля; нарушение маслоподачи на подшипники генератора; повреждение уплотняющих подшипников; ошибки персонала (нарушение линейно-нормативных актов, человеческий фактор).

Если же из элементов рискового поля выбрать риск нарушения требований промышленной, пожарной безопасности и охраны труда, то для него КПП являются такие: несвоевременное продление сроков безопасной эксплуатации оборудования; несвоевременное проведение *освидетельствования* оборудования; несвоевременное проведение испытаний оборудования; изменение норм охраны труда, промышленной и пожарной безопасности; ошибки персонала (нарушение линейно-нормативных актов, человеческий фактор); недостаточное финансирование; отсутствие ремонтов, невыполнение корректирующих мероприятий по заключениям.

Пусть эксперты выбрали систему из  $n$  показателей  $x_1, \dots, x_n$ . Каждый ключевой показатель – лингвистическая переменная, принимающая свои значения на определенном числовом промежутке, за границы которого показатель не должен выходить. Лингвистические терм-множества каждой переменной задаются экспертами. Пусть в качестве множества значений каждой из введенных переменных  $x_1, \dots, x_n$  эксперты указали терм-множества  $A_1 = \{A_{11}, \dots, A_{1k_1}\}, \dots, A_n = \{A_{n1}, \dots, A_{nk_n}\}$  соответственно. Для пилотной модели рекомендуется выбирать терм-множества с треугольными функциями принадлежности [9]. Это обусловлено тем, что для их определения требуется наименьший по сравнению с другими (гауссовыми, сигмоидальными и пр.) функциями объем информации, что является определяющим фактором при моделировании в условиях ограниченности исходной информации. Чтобы

определить треугольную функцию, достаточно задать модальное значение нечеткого множества.

Модель оценки риска  $R$  представляет собой функцию следующего вида:

$$X_1 \times \dots \times X_n \rightarrow [0; 1],$$

где  $X_1 \times \dots \times X_n = \{(x_1, \dots, x_n) | x_1 \in X_1, \dots, x_n \in X_n\}$ ;

$(x_1, \dots, x_n)$  – вектор ключевых показателей риска.

Такой подход индуцирован ранними работами авторов по семантическому оцениванию формул элементами специально подбираемых булевых и гейтинговых алгебр<sup>2</sup>.

Приведем фрагмент нечеткого моделирования системы оценки технологического риска, ограничившись рассмотрением трех ключевых показателей.

Вводим лингвистическую переменную  $R =$  «Технологический риск». В качестве ее лингвистических терм-множеств эксперты указали {низкий, средний, высокий}, а значения параметров соответственно:  $(0; 0; 0,1)$ ,  $(0,1; 0,5; 0,9)$ ,  $(0,6; 1; 1)$  (см. рис. 1). Заключение об оценке технологического риска эксперты дали на основе следующих показателей:

$x_1$  – количество расходов на восстановление оборудования вследствие аварий;

$x_2$  – продолжительность внеплановых ремонтов оборудования;

$x_3$  – продолжительность простоев технологического процесса.

Для переменной  $x_1$  был определен диапазон значений от 1 до 3,2 (единица измерения – ден. ед./мес.). Для переменной  $x_2$  диапазон значений составил отрезок от 2 до 6 (единица измерения – сут./мес.). Для переменной  $x_3$  диапазон значений был выбран от 4 до 12 (единица измерения – ч/мес.). Каждый показатель технологического риска – лингвистическая переменная, то есть переменная с лингвистическими значениями, выражающими качественные оценки. В качестве лингвистических терм-множеств переменных  $x_1$ ,  $x_2$  и  $x_3$  эксперты указали  $A_1 = \{A_{11}, A_{12}, A_{13}\}$ ,  $A_2 = \{A_{21}, A_{22}, A_{23}\}$  и  $A_3 = \{A_{31}, A_{32}, A_{33}\}$  соответственно. Экспертные оценки приведены в табл. 1 ( $i = 1, 2, 3$ ).

В качестве нечеткой базы знаний, являющихся носителем экспертной информации, были сформулированы логические правила, которые выражаются в виде пар посылок и заключений типа «Если..., то...». Элементы antecedентов нечетких правил связаны логической операцией И. Нечеткая база знаний для моделирования указана в табл. 2.

<sup>2</sup> Горемыкина Г.И. Интуиционистские варианты ряда теорем классической алгебры. Екатеринбург, 1997. 18 с.



Таблица 1

## Экспертные оценки показателей технологического риска

Показатель	Терм		
	Низкие (ая), $A_{11}$	Средние (ая), $A_{12}$	Высокие (ая), $A_{13}$
$x_1$	(1; 1; 1,65)	(1,2; 1,9; 2,6)	(2; 3,2; 3,2)
$x_2$	(2; 2; 3,25)	(2,3; 3,5; 4,7)	(4; 6; 6)
$x_3$	(4; 4; 6,5)	(4,5; 7,25; 10)	(8; 12; 12)

Таблица 2

## Нечеткая база знаний для моделирования оценки технологического риска

Правило №	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$R$
1	Низкое	Низкая	Низкая	Низкий
2	Низкое	Низкая	Средняя	Низкий
3	Низкое	Низкая	Высокая	Средний
4	Низкое	Средняя	Низкая	Низкий
5	Низкое	Средняя	Средняя	Средний
6	Низкое	Средняя	Высокая	Средний
7	Низкое	Высокая	Низкая	Средний
8	Низкое	Высокая	Средняя	Средний
9	Низкое	Высокая	Высокая	Высокий
10	Среднее	Низкая	Низкая	Низкий
11	Среднее	Низкая	Средняя	Средний
12	Среднее	Низкая	Высокая	Средний
13	Среднее	Средняя	Низкая	Средний
14	Среднее	Средняя	Средняя	Средний
15	Среднее	Средняя	Высокая	Высокий
16	Среднее	Высокая	Низкая	Средний
17	Среднее	Высокая	Средняя	Высокий
18	Среднее	Высокая	Высокая	Высокий
19	Высокое	Низкая	Низкая	Средний
20	Высокое	Низкая	Средняя	Средний
21	Высокое	Низкая	Высокая	Высокий
22	Высокое	Средняя	Низкая	Средний
23	Высокое	Средняя	Средняя	Высокий
24	Высокое	Средняя	Высокая	Высокий
25	Высокое	Высокая	Низкая	Высокий
26	Высокое	Высокая	Средняя	Высокий
27	Высокое	Высокая	Высокая	Высокий

**Примечание:**  $x_1$  – количество расходов на восстановление оборудования вследствие аварий;  $x_2$  – продолжительность внеплановых ремонтов оборудования;  $x_3$  – продолжительность простоев технологического процесса;  $R$  – технологический риск.

## Компьютерная реализация модели

В качестве практического инструмента для реализации нечетких моделей оценок различных видов риска авторы выбрали среду *MatLab*, используя при этом пакет *Fuzzy Logic Toolbox* и интерактивный модуль *fuzzy*. Выбор данной инструментальной среды обусловлен ее высокой эффективностью вычислений; визуализацией результатов, а также наличием в рамках пакета *Fuzzy Logic Toolbox* интерактивного модуля *anfisedit*, который позволяет провести моделирование параметров риска и определить динамику их изменения в случае большого числа входных параметров.

Адаптивная нейро-нечеткая система автоматически синтезирует из экспериментальных данных нейро-нечеткие сети. При этом функции принадлежности синтезированных систем настроены так, чтобы минимизировать отклонения между экспериментальными данными и результатами нечеткого моделирования [18]. Таким образом, оценку риска представляется возможным проводить по экспериментальным данным имитационной модели или архивным данным компании.

Еще одной из причин выбора среды *MatLab* является наличие опыта работы авторов проектируемой системы с пакетом *Fuzzy Logic Toolbox* и интерактивным модулем *fuzzy* [2].

Для создания СНЛВ (системы нечеткого логического вывода) запускаем в *MatLab* модуль *fuzzy*, который позволяет строить нечеткие системы двух типов – Мамдани и Сугено [5, 17]. Основное отличие между ними заключается в разных способах задания значений выходной переменной в правилах, образующих базу знаний. В системах типа Мамдани значения выходной переменной задаются нечеткими термами, в системах типа Сугено – как линейная комбинация входных переменных. В предлагаемой модели применяется схема нечеткого вывода по Мамдани, в которой antecedentes и консеквенты правил являются нечеткими высказываниями.

Добавляем входные переменные, переименовываем входные и выходную переменные, задаем имя

системы – Risk-Tech.fis (рис. 2). Каждой входной и выходной переменной ставим в соответствие набор функций принадлежности типа *trimf*. Задаем градации (рис. 3).

Вводим правила из нечеткой базы знаний для моделирования оценки технологического риска, представленной в табл. 2. Окно редактора базы знаний после ввода всех правил изображено на рис. 4. Окно средства просмотра правил вывода приведено на рис. 5, оно позволяет отобразить процесс нечеткого логического вывода и получить результат.

Как видно из анализа данных рис. 5, при входном векторе  $(x_1; x_2; x_3) = (2,23; 2,6; 5,49)$  результат составляет  $\|R\| = 0,445$ , что соответствует оценке технологического риска «средний».

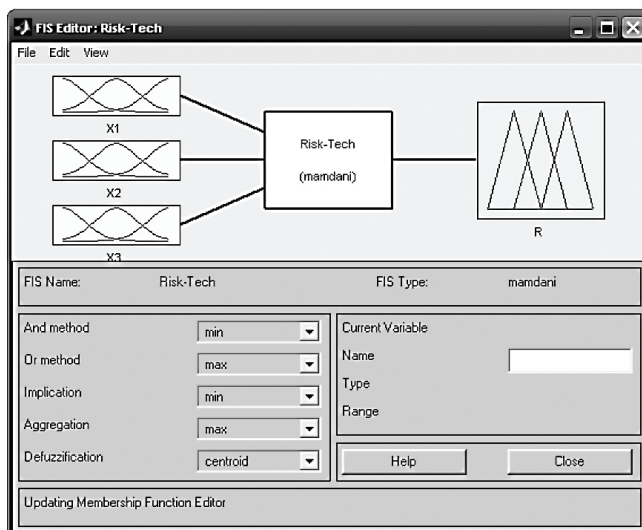


Рис. 2. Окно редактора СНЛВ Risk-Tech.fis (компьютерное отображение)

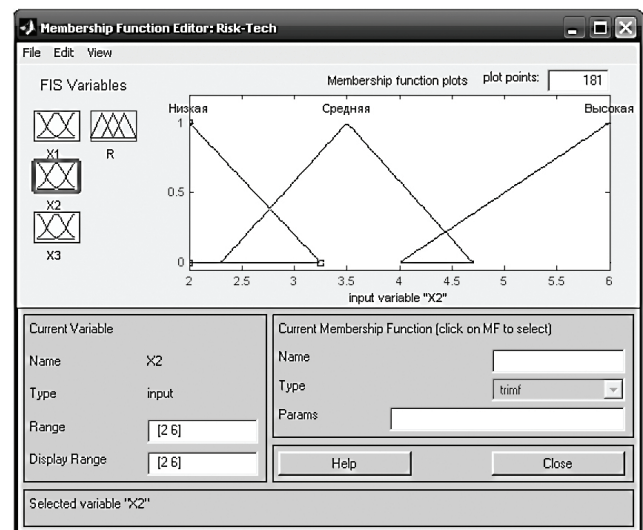


Рис. 3. Окно редактора функций принадлежности СНЛВ Risk-Tech.fis (компьютерное отображение)

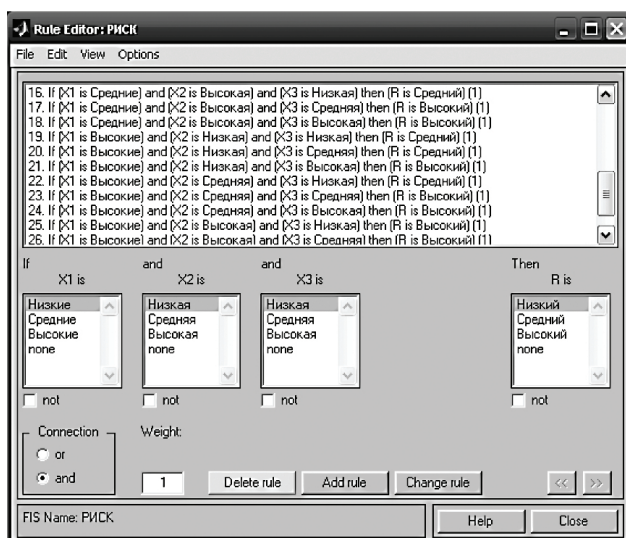


Рис. 4. Окно редактора правил вывода СНЛВ Risk-Tech.fis (компьютерное отображение)

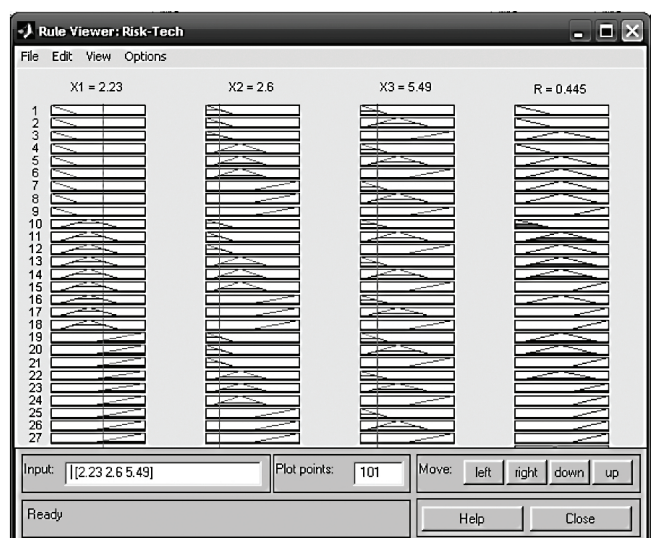
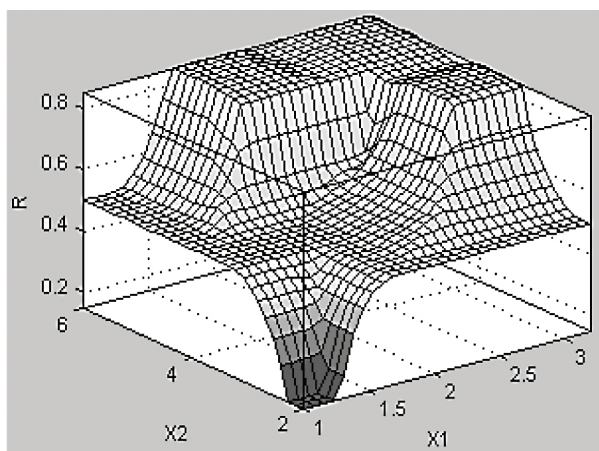


Рис. 5. Окно средства просмотра правил вывода СНЛВ Risk-Tech.fis (компьютерное отображение)

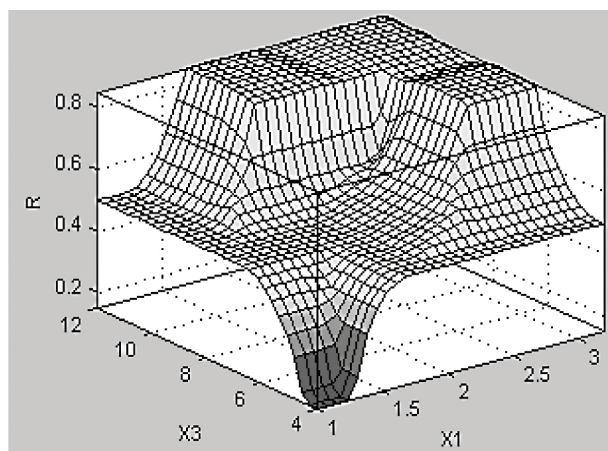
На рис. 6 приведены карты поверхности вывода системы Risk-Tech.fis.

Проиллюстрируем работу модели. Для этого проведем моделирование параметров оценки техно-

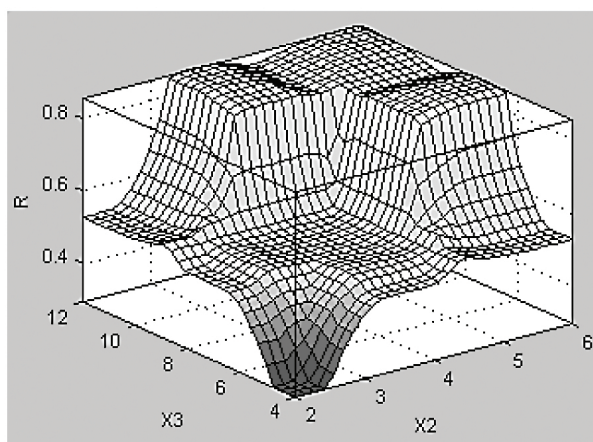
логического риска и с помощью системы нечеткого логического вывода Risk-Tech.fis оценим значения выходной переменной. В табл. 3 приведены результаты работы этой части программы.



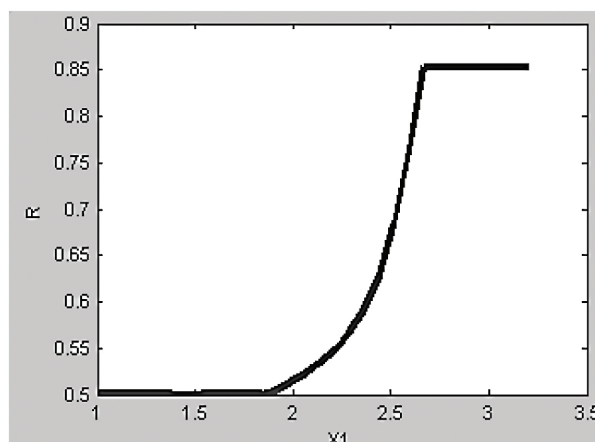
а



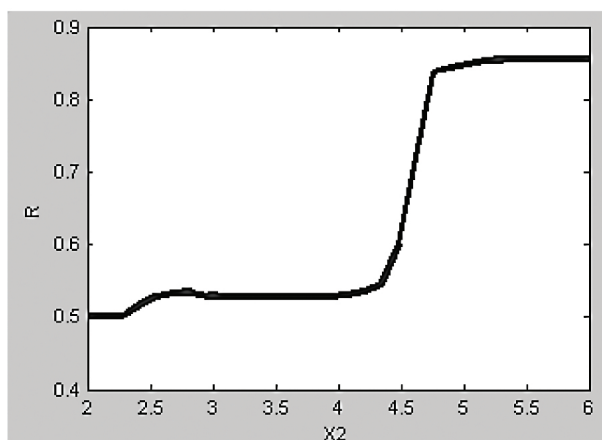
б



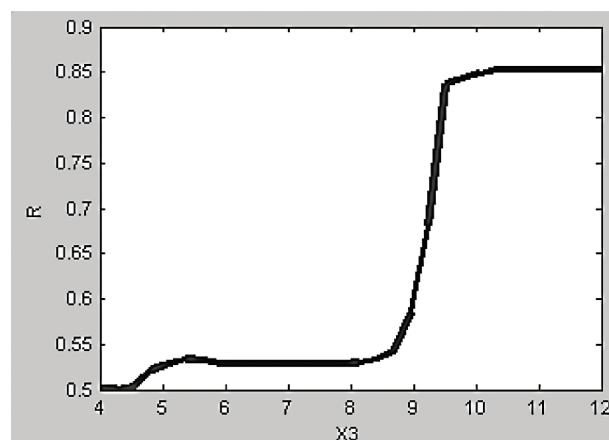
в



г



д



е

Рис. 6. Отображение зависимости выхода системы от различных входов:

а –  $x_1$  и  $x_2$ ; б –  $x_1$  и  $x_3$ ; в –  $x_2$  и  $x_3$ ; г –  $x_1$ ; д –  $x_2$ ; е –  $x_3$



Таблица 3

## Варианты реализации системы оценки технологического риска

№ п/п	$x_1$	$x_2$	$x_3$	R	
				Четкое числовое значение	Элемент терм-множества
1	1,25	2,31	4,43	0,145	Низкий
2	1,38	3,04	7,13	0,465	Средний
3	1,68	4,58	9,45	0,787	Высокий
4	2,44	3,86	5,20	0,561	Средний
5	2,21	5,78	11,1	0,849	Высокий
6	3,05	2,17	8,87	0,566	Средний
7	1,57	4,39	10,1	0,635	Средний
8	2,71	5,01	11,8	0,847	Высокий
9	1,20	2,12	4,72	0,140	Низкий
10	1,12	2,36	5,88	0,215	Низкий

### Моделирование системы риск-менеджмента

Применяя бенчмаркинг, построенную модель нечетко-логической системы оценки риска можно использовать для создания модели системы риск-менеджмента в компаниях энергетического сектора. Здесь необходима некоторая детализация. Пусть  $\|R\|_1, \|R\|_2$  – количественные оценки риска, регламентируемые требованиями энергетических компаний и разрабатываемые экспертами на основе эталонных значений по шкале от 0 до 1. При этом выполняется следующее неравенство:  $\|R\|_1 \leq \|R\|_2$ . Указанные оценки выступают в роли индикаторов, на основе которых принимаются решения.

Пусть  $\|R\|$  – результат работы системы оценки риска. Если  $\|R\| \leq \|R\|_1$ , то идет планируемый процесс и снижения риска не требуется. Если  $\|R\|_1 < \|R\| \leq \|R\|_2$ , то требуется снижение риска и его проведение возможно владельцем риска. Если  $\|R\| > \|R\|_2$ , то требуется снижение риска, но его проведение возможно только на высшем уровне руководства.

В целях определения результативности процедур и мероприятий по управлению рисками следует проводить оценку их эффективности. Показатели эффективности должны отражать количественную оценку степени достижения поставленной цели.

Моделирование системы оценки эффективности управления технологическим риском было реализовано с помощью СНЛВ ERM-Tech.fis. Вводим лингвистическую переменную  $E = \langle \text{Эффективность управления технологическим риском} \rangle$ . Универсальным множеством для нее является отрезок  $[0; 1]$ . В качестве множества значений введенной переменной эксперты указали терм-множество {низкая, средняя, высокая}, а значения параметров – соответственно:  $(0; 0; 0,3)$ ,  $(0,2; 0,55; 0,9)$ ,  $(0,85; 1; 1)$ .

Заключение об оценке  $E$  эксперты дали на основе следующих показателей:

*Дельта* ( $\Delta$ ) – количественное уменьшение (отрицательный прирост) технологического риска, связанного с принятием и реализацией тех или иных управленческих решений (представляет собой разность между оценкой минимизированного риска и оценкой исходного);

$k$  – коэффициент затрат, определяемый как отношение суммы понесенных затрат на реализацию управленческого решения по уменьшению технологического риска к общей сумме затрат, понесенных в связи с осуществлением мероприятий по управлению рисками в электроэнергетической компании.

В качестве лингвистического терм-множества для переменной  $\Delta$  эксперты указали 3 позиции количественного уменьшения технологического риска (диапазон измерения от 0 до 30, %): низкое (0; 0; 9); среднее (4; 10; 16); высокое (12; 30; 30).

В качестве лингвистического терм-множества для переменной  $k$  эксперты указали 3 позиции коэффициента затрат (единица измерения – действительное число от 0 до 1): низкий (0; 0; 0,1), средний (0,05; 0,15; 0,25), высокий (0,2; 1; 1).

Нечеткая база знаний для моделирования указана в табл. 4.

Таблица 4

### Нечеткая база знаний для моделирования СНЛВ ERM-Tech.fis

Правило №	V	k	E
1	Низкое	Низкий	Средняя
2	Низкое	Средний	Низкая
3	Низкое	Высокий	Низкая
4	Среднее	Низкий	Средняя
5	Среднее	Средний	Средняя
6	Среднее	Высокий	Низкая
7	Высокое	Низкий	Высокая
8	Высокое	Средний	Высокая
9	Высокое	Высокий	Средняя



В связи с тем, что схема работы с программным модулем *Fuzzy Logic* системы *MatLab* уже описана, ограничимся лишь иллюстрацией каждого проведенного этапа скриншотом (рис. 7, 8, 9).

Как видно из анализа данных рис. 10, при входном векторе (16,1; 0,068) на выходе системы получается величина, равная 0,891. Она характеризует эффективность управления технологическим риском как «высокую».

На рис. 11 приведена поверхность «входы – выход», соответствующая синтезированной ЧЛЛВ ERM-Tech.fis.

Кривые отклика блока формирования выходной переменной ЧЛЛВ ERM-Tech.fis приведены на рис. 12.

Варианты (сценарии) реализации ЧЛЛВ ERM-Tech.fis приведены в табл. 5.

## Заключение

Функционирование системы управления рисками позволяет своевременно выявлять риски и предвидеть последствия от их реализации в натуральной и денежной форме, предотвращать наступление крупных убытков, а также предусматривать, с помощью каких методов и до какого уровня можно снизить величину каждого риска и эффективно удерживать в допустимых пределах. Эффективность управления рисками проявляется в следующих возможностях: снижении уровня убыточности путем принятия мер по предотвращению риска до момента наступления убытка; формировании защиты от финансовых последствий рисков (в рамках страхового покрытия); повышении устойчивости финансовых показателей и соблюдении парамет-

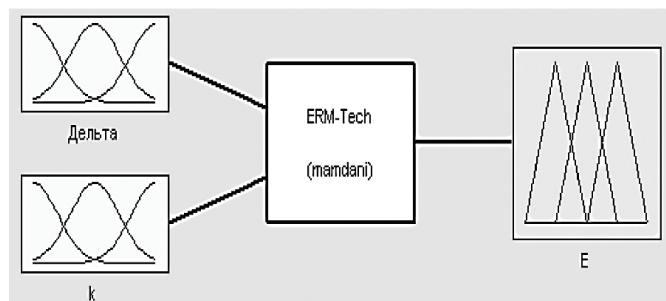


Рис. 7. Схема ЧЛЛВ ERM-Tech.fis (компьютерное отображение)

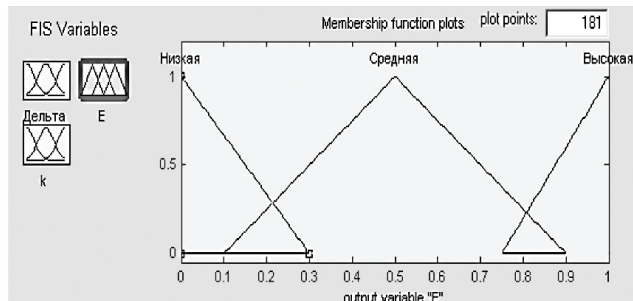


Рис. 8. Функции принадлежности ЧЛЛВ ERM-Tech.fis (компьютерное отображение)

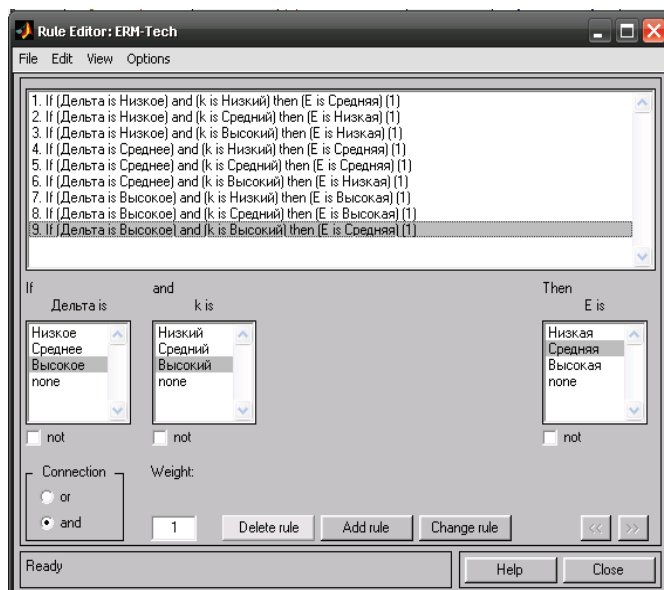


Рис. 9. Окно редактора правил вывода ЧЛЛВ ERM-Tech.fis (компьютерное отображение)

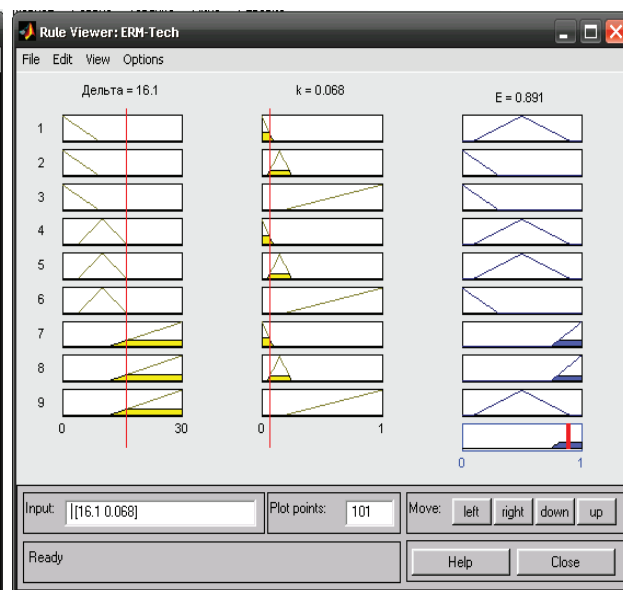


Рис. 10. Визуализация ЧЛЛВ ERM-Tech.fis (компьютерное отображение)

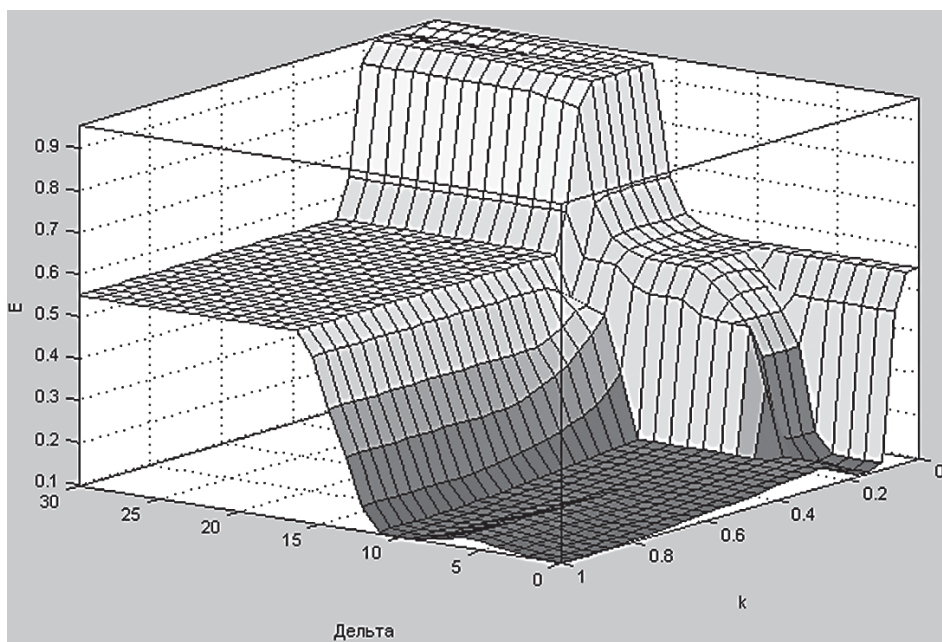


Рис. 11. Карта поверхности оценки эффективности управления технологическим риском (компьютерное отображение)

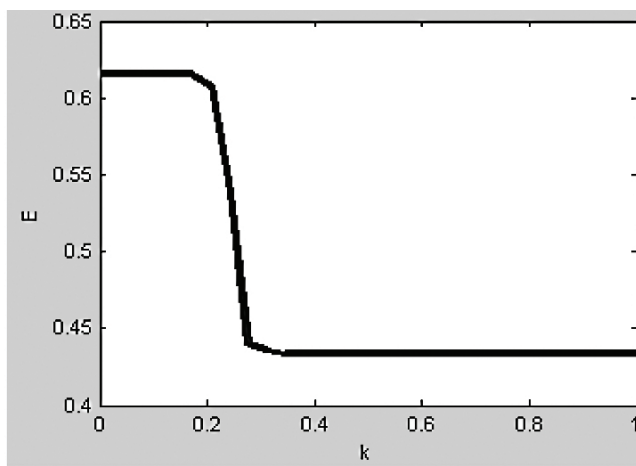
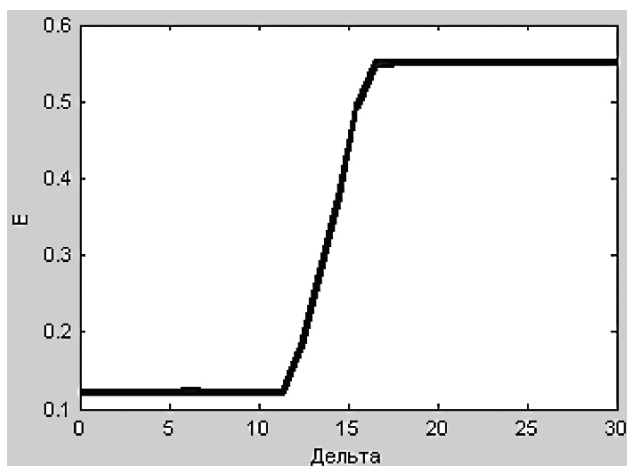


Рис. 12. Кривые отклика FIS-блока формирования выходной переменной СНЛВ ERM-Tech.fis (компьютерное отображение)

Таблица 5

**Варианты реализации системы СНЛВ ERM-Tech.fis**

№ п/п	Δ	k	E	
			Четкое числовое значение	Элемент терм-множества
1	1,79	0,410	0,129	Низкая
2	21,90	0,050	0,944	Высокая
3	15,96	0,080	0,885	Высокая
4	13,30	0,759	0,252	Средняя
5	7,57	0,130	0,501	Средняя
6	18,03	0,205	0,907	Высокая
7	21,60	0,232	0,731	Средняя
8	15,00	0,350	0,433	Средняя
9	0,96	0,177	0,103	Низкая
10	12,80	0,695	0,199	Низкая

ров бюджета; минимизации временных задержек; оперативности принятия управленческих решений и оптимизации контрольных процедур.

Предлагаемая модель системы риск-менеджмента может быть интегрирована в систему поддержки принятия решений по управлению рисками

и реализована в информационной среде компании энергетического сектора. Примером может служить реализация нечетко-логической системы управления инвестиционным проектом в информационной среде предприятия<sup>3</sup>.

### Список литературы

1. Бююль А., Цёфель П. SPSS: искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей / пер. с нем. СПб: ДиаСофтЮП, 2005. 608 с.

2. Горемыкина Г.И. Экономико-математическое моделирование систем управления на основе нечеткой технологии: монография / Г.И. Горемыкина, Н.А. Дмитриевская, И.Н. Мастяева. М.: МЭСИ, 2014. 138 с.

3. Дмитриевская Н.А. Межстрановой анализ критериев уязвимости и устойчивости развития / Н.А. Дмитриевская, Е.В. Грибова // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2014. № 1. С. 34–38.

4. Дубров А.М. Многомерные статистические методы / А.М. Дубров, В.С. Мхитарян, Л.И. Трошин. М.: Финансы и статистика, 2011. 352 с.

5. Леоненков А.А. Нечеткое моделирование в среде MatLab и fuzzyTECH. СПб: БХВ-Петербург, 2003. 716 с.

6. Любецкий В.А. Оценки и пучки. О некоторых вопросах нестандартного анализа // Успехи математических наук. 1989. Т. 44. Вып. 4. С. 99–153.

7. Мастяева И.Н. Модель определения «ядра» интегрированной производственной структуры / И.Н. Мастяева, О.Е. Хрусталев // Обзорные промышленной математики. 2007. Т. 14. № 6. С. 1121–1123.

8. Морозов В.П. Гипертексты в экономике / В.П. Морозов, Е.Ю. Хрусталёв, В.П. Тихомиров. М.: Финансы и статистика. 1997. 253 с.

9. Пегам А. Нечеткое моделирование и управление / пер. с англ. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. 798 с.

10. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети. Винница: УНИВЕРСУМ – Винница. 1999. 320 с.

11. Хрусталёв Е.Ю. Логико-лингвистические модели наукоемкого производственного комплекса как разновидность интеллектуальных информационных систем // Экономический анализ: теория и практика. 2014. № 11. С. 11–22.

12. Хрусталёв Е.Ю. Методологические и теоретические основы гипертекстовой технологии моделирования экономических систем // Концепции. 2010. № 1–2. С. 40–50.

13. Хрусталёв Е.Ю. Семантическое моделирование как метод производства, систематизации и использования знаний об оборонном потенциале государства // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2012. № 9. С. 2–15.

14. Хрусталёв Е.Ю., Хрусталёв О.Е. Когнитивное моделирование развития наукоемкой промышленности (на примере оборонно-промышленного комплекса) // Экономический анализ: теория и практика. 2013. № 10. С. 2–10.

15. Федорчук А.А. Моделируемые и немоделируемые риски энергетической компании // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2012. № 4. С. 42–47.

16. Федорчук А.А. Методика оценки уровня толерантности и ранжирования рисков компании // Надежность и безопасность энергетики. 2012. № 2. С. 31–35.

17. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MatLab. М.: Горячая линия – Телеком, 2007. 288 с.

18. Ярушкина Н.Г. Основы теории нечетких и гибридных систем. М.: Финансы и статистика, 2004. 320 с.

19. Kosko B. Fuzzy Systems as Universal Approximators // IEEE Trans. on Computers. 1994. Vol. 43. № 11. P. 1329–333.

20. Parmenter D. Key Performance Indicators: Developing, Implementing and Using Winning KPI's. / New Jersey, USA: John Wiley & Sons, inc., 2007.

21. Zadeh L.A. Fuzzy sets // Inform. Contr. 1965. Vol. 8. P. 338–353.

22. Zadeh L. Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes // IEEE Trans. Syst. Man Cybernet. 1973. № 3. P. 28–44.

<sup>3</sup> Горемыкина Г.И. Математическое моделирование системы поддержки принятия решений по управлению инвестиционными проектами и ее реализация в информационной среде предприятия / Г.И. Горемыкина, И.Н. Мастяева, М.А. Жданова // Математические и инструментальные методы экономики: теория, методология, практика. Сборник трудов Межд. научн. Е-симпозиума. М., 2013. С. 37–52.

National interests: priorities and security

ISSN 2311-875X (Online)

ISSN 2073-2872 (Print)

Strategy of economic advancement

## MODELING THE RISK MANAGEMENT SYSTEM IN POWER-GENERATING SECTOR COMPANIES

Galina I. GOREMYKINA,

Irina N. MASTYAEVA,

Anna A. FEDORCHUK

### Abstract

**Importance** The target-oriented and forecasting fuel and energy balance of Russia for the period until 2035 presumes advanced development of the electric-power industry for the realization of large-scale electrification of the national economy with the growth of installed power in power plants by more than 1/3 times increase and 1.6 times increase of generation of electricity. The change of functioning conditions directly impacts each electric-power industry facility. Because of this, at present, Russia is experiencing reforming of electric-power industry: of wholesale market liberalization of electric energy, implementation of the energy-saving and energy-efficiency programs, changing of tariff regulation and creation of wholesale market of power capacities. As a result, the organizations need new tools and technologies for transforming regulation market into competition market. A competition market is characterized by decision-making under condition of uncertainty. As a result, there is a need of forecasting of potential losses, and it means creating risk-management system.

**Objectives** The aim of this research is the development of risk estimation model of electric energy company for constructing optimal strategy for market behavior. For achieving this goal, there were some tasks which were set up and solved, namely: different approaches to modeling risk-management system depending on quantity and quality of input data have been analyzed and compared; fuzzy-logic model of risk-management system of an electric-power company based upon key indicators and developed modeling of its parameters.

**Methods** In this research, we have developed fuzzy-modeling methodology of evaluation and risks management of an electric-power company.

**Results** We have constructed a model of risk management system. In the proposed model, we have used the Mamdani-Type Fuzzy Inference according to expert fuzzy knowledge basis. The development process of the system is implemented in MatLab environment using the Fuzzy Logic Toolbox package. The paper offered

practical recommendations concerning construction methods of the mentioned system, and also carried out its parameters modeling.

**Conclusions and Relevance** The practical significance of the research lies in the opportunity of applying the developed system as universal tool for assessing risks and creating a set of measures to minimize it.

**Keywords:** risk, key risk indicators, risk assessment, probabilistic models, fuzzy technology

### References

1. Bühl A., Zöfel P. *SPSS: искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей* [SPSS Version 10. Einführung in die moderne Datenanalyse unter Windows]. St. Petersburg, DiaSoftYuP Publ., 2005, 608 p.
2. Goremykina G.I. *Ekonomiko-matematicheskoe modelirovanie sistem upravleniya na osnove nechetkoi tekhnologii: monografiya* [An economic-mathematical model of control systems based on the fuzzy technology: a monograph]. Moscow, MESI Publ., 2014, 138 p.
3. Dmitrievskaya N.A. *Mezhstranovoi analiz kriteriev uyazvimosti i ustoichivosti razvitiya* [A cross-country analysis of vulnerability criteria and sustainability]. *Natsional'nye interesy: priority i bezopasnost'* = *National interests: priorities and security*, 2014, no. 1, pp. 34–38.
4. Dubrov A.M. *Mnogomernye statisticheskie metody* [Multivariate statistical methods]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 2011, 352 p.
5. Leonenkov A.A. *Nechetkoe modelirovanie v srede MatLab i fuzzyTECH* [Fuzzy modeling in MatLab and fuzzyTECH environment]. St. Petersburg, BKhV-Petersburg Publ., 2003, 716 p.
6. Lyubetskii V.A. *Otsenki i puchki. O nekotorykh voprosakh nestandartnogo analiza* [Valuations and bundles. On some issues of non-standard analysis]. *Uspekhi matematicheskikh nauk = Advances in Mathematics*, 1989, vol. 44, iss. 4, pp. 99–153.



7. Mastyaeva I.N. Model' opredeleniya "yadra" integrirovannoi proizvodstvennoi struktury [Definition of the core model of an integrated production structure]. *Obozrenie promyshlennoi matematiki = Review of Industrial Mathematics*, 2007, vol. 14, no. 6, pp. 1121–1123.
8. Morozov V.P. *Giperteksty v ekonomike* [Hypertexts in the economy]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 1997, 253 p.
9. Pegat A. *Nechetkoe modelirovanie i upravlenie* [Fuzzy modeling and control]. Moscow, BINOM. Laboratoriya znaniy Publ., 2009, 798 p.
10. Rotshtein A.P. *Intellektual'nye tekhnologii identifikatsii: nechetkaya logika, geneticheskie algoritmy, neironnye seti* [Intelligent identification technologies: fuzzy logic, genetic algorithms, and neural networks]. Vinnitsa, UNIVERSUM–Vinnitsa Publ., 1999, 320 p.
11. Khrustalev E.Yu. Logiko-lingvisticheskie modeli naukoemkogo proizvodstvennogo kompleksa kak raznovidnost' intellektual'nykh informatsionnykh sistem [Logical-linguistic models of high-tech manufacturing complex as a variation of intelligent information systems]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika = Economic analysis: theory and practice*, 2014, no. 11, pp. 11–22.
12. Khrustalev E.Yu. Metodologicheskie i teoreticheskie osnovy gipertekstovoi tekhnologii modelirovaniya ekonomicheskikh sistem [Methodological and theoretical foundations of the hypertext technology for economic systems modeling]. *Kontseptsii = Concepts*, 2010, no. 1-2, pp. 40–50.
13. Khrustalev E.Yu. Semanticheskoe modelirovanie kak metod proizvodstva, sistematizatsii i ispol'zovaniya znaniy ob oboronnom potentsiale gosudarstva [Semantic modeling as a method of production, systematization and use of knowledge about the State defense capabilities]. *Natsional'nye interesy: priority i bezopasnost' = National interests: priorities and security*, 2012, no. 9, pp. 2–15.
14. Khrustalev E.Yu., Khrustalev O.E. Kognitivnoe modelirovanie razvitiya naukoemkoi promyshlennosti (na primere oboronno-promyshlennogo kompleksa) [Cognitive modeling of the development of knowledge-based industries (a defense industry case)]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika = Economic analysis: theory and practice*, 2013, no. 10, pp. 2–10.
15. Fedorchuk A.A. Modeliruemye i nemodeliruemye riski energeticheskoi kompanii [Simulated and non-simulated risks of the energy company]. *Natsional'nye interesy: priority i bezopasnost' = National interests: priorities and security*, 2012, no. 4, pp. 42–47.
16. Fedorchuk A.A. Metodika otsenki urovnya tolerantnosti i ranzhirovaniya riskov kompanii [Evaluation technique for the level of tolerance and company's risk ranking]. *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Reliability and energy security*, 2012, no. 2, pp. 31–35.
17. Shtovba S.D. *Proektirovanie nechetkikh sistem sredstvami MatLab* [Designing fuzzy systems by means of the MatLab system]. Moscow, Goryachaya liniya – Telekom Publ., 2007, 288 p.
18. Yarushkina N.G. *Osnovy teorii nechetkikh i gibridnykh sistem* [Fundamentals of the theory of fuzzy and hybrid systems]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 2004, 320 p.
19. Kosko B. Fuzzy Systems as Universal Approximators. *IEEE Trans. on Computers*, 1994, vol. 43, no. 11, pp. 1329–1333.
20. Parmenter D. *Key Performance Indicators: Developing, Implementing and Using Winning KPI's*. New Jersey, USA, John Wiley & Sons, inc., 2007.
21. Zadeh L.A. Fuzzy sets. *Inform. Contr.*, 1965, vol. 8, pp. 338–353.
22. Zadeh L.A. Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes. *IEEE Trans. Syst. Man Cybernet*, 1973, no. 3, pp. 28–44.

---

**Galina I. GOREMYKINA**

Moscow State University of Economics, Statistics and Informatics, Moscow, Russian Federation  
g\_iv.05@mail.ru

**Irina N. MASTYAEVA**

Moscow State University of Economics, Statistics and Informatics, Moscow, Russian Federation  
imastyaeva@mesi.ru

**Anna A. FEDORCHUK**

Autonomous Non-commercial Organization UFL Organizing Committee, Moscow, Russian Federation  
anna.fedorchuk.86@mail.ru

**Acknowledgments**

The article was supported by the Russian Foundation for Basic Research (grant No. 14-06-00240).