

А.Ф. РОГАЧЕВ, А.А. ШЕВЧЕНКО, В.А. КУЗЬМИН
**ОЦЕНИВАНИЕ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ
МЕТОДАМИ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ**

Рогачев А.Ф., Шевченко А.А., Кузьмин В.А. Оценивание эколого-экономической безопасности промышленных предприятий методами нечеткой логики.

Аннотация. В статье предпринята попытка использования математического аппарата нечеткой логики для оценивания эколого-экономической безопасности предприятий и оценки рисков, возникающих в ходе их хозяйственной деятельности. Проведено зонирование угроз эколого-экономической безопасности и разработан метод оценивания эффективности рекомендаций по комплексу необходимых мероприятий для предотвращения ущерба и минимизации потерь.

Ключевые слова: эколого-экономическая безопасность, нечетко-множественные модели, зонирование угроз, эффективность проекта.

Rogachev A.F., Shevchenko A.A., Kuzmin V.A. Assessment of ecological and economic security of industrial enterprises by methods of fuzzy logic.

Abstract. The article attempts to use the mathematical apparatus of fuzzy logic for the evaluation of ecological and economic security of enterprises and assessment of the risks arising in the course of their economic activity. Zoning of threats to the ecological and economic safety and developed a method of assessing the effectiveness of the recommendations on the complex of necessary measures to prevent damage and to minimize losses.

Keywords: ecological and economic security, fuzzy-multiple models, zoning threats, efficiency of the project.

1. Введение. В настоящее время в России и во всем мире все более актуальными становятся проблемы, связанные с экологической обстановкой. Производственные предприятия оказывают заметные негативные воздействия на окружающую среду. В свете этого особо важным представляется обеспечение развития промышленных предприятий на фоне сокращения индуцируемых ими угроз эколого-экономической безопасности.

В мировой практике для обеспечения экологической безопасности определяются масштабы угроз, а так же проводится качественная и количественная оценка экономического ущерба от загрязнения природной среды. Существующие методы не всегда позволяют получить объективную информацию, необходимую для принятия решений.

Целью данной статьи является предложение нового метода оценивания эколого-экономической безопасности предприятий, реализованного с помощью математического инструментария, позволяющего моделировать более конкретные ситуации для предотвращения наступления негативных событий.

Для достижения поставленной цели мы покажем, как можно оценить степень угроз с помощью аппарата нечеткой логики в системах искусственного интеллекта, основываясь на совокупности взаимосвязанных научных предположений и системе теоретических положений, согласно которым степень эколого-экономической безопасности производственных предприятий зависит от внутренних и внешних факторов, оказывающих влияние на отрасль. Это позволит своевременно предупреждать и останавливать возникающие причины кризисных явлений и ситуаций, а также предлагать рекомендации по укреплению эколого-экономической безопасности предприятий [1].

2. Описание метода. В качестве исходных данных при разработке системы нечетко-множественных моделей эколого-экономической безопасности, а также их формализации в системе Mat Lab (Fuzzy Logic Toolbox) для оценки, анализа и визуализации эколого-экономических показателей исследуемого объекта использовались годовые объемы размещаемых отходов производства и потребления (табл. 1).

Таблица 1. Количество и класс опасности для окружающей среды отходов типичного предприятия

Название отхода	Кл. оп.	Количество [т, (м3)]
Ртутные лампы, люминесцентные ртутьсодержащие трубки отработанные и брак	1	0.0036 (0.0202)
Итого отходов I класса опасности:		0.0036
Обувь кожаная рабочая, потерявшая потребительские свойства	4	0.0010 (0.0033)
Шлак сварочный	4	0.0006 (0.0015)
Обтирочный материал, загрязненный маслами (содержание масел менее 15%)	4	0.0004 (0.0100)
Покрышки с металлическим кордом отработанные	4	0.1488 (1.1300)
Мусор от бытовых помещений организаций несортированный (исключая крупногабаритный)	4	5.0000 (25.0000)
Отходы потребления на производстве, подобные коммунальным	4	1.4850 (2.3860)
Итого отходов IV класса опасности:		6.6358
Отходы бумаги и картона от канцелярской деятельности и делопроизводства	5	0.0200 (0.0400)
Остатки и огарки стальных сварочных электродов	5	0.0120 (0.0146)
Электрические лампы накаливания отработанные и брак	5	0.0027 (0.0181)
Итого отходов V класса опасности:		0.0347
Итого:		6.6741

На первом этапе моделирования эколого-экономической безопасности были определены предельные критические и высокие значения для каждого индикатора. Формализацию индикаторов, задаваемых на качественном уровне, также следует провести на основе функций принадлежности (см. рисунок 1).

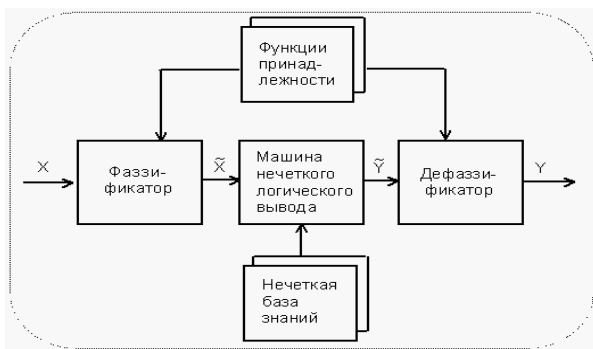


Рис 1. Формирование нечеткого вывода функций принадлежности.

Алгоритм примечателен тем, что он работает по принципу «черного ящика». На вход поступают количественные значения, на выходе они же. На промежуточных этапах используется аппарат нечеткой логики и теория нечетких множеств.

На следующем этапе моделирования эколого-экономической безопасности были определены предельные, критические и высокие значения уровня эколого-экономической безопасности для определения формы функции принадлежности, ассоциированной с каждой переменной, она может быть описана в универсальной форме аппроксиматоров (см. 1).

$$y(x) = \sum_{i=1}^N \phi_i(x) \cdot \theta_i, \quad (1)$$

где $\phi(x)$ — функция нормального распределения центрированной и нормированной случайной величины x , θ_i — i -я производная от функции нормального распределения.

Для описания элементов модели использовано множество нечетких ситуаций, которые характеризуют пространство возможных состояний этих элементов, а также множество взаимосвязей [2]. Каждому элементу системы p_i присваивается (τ_i, B_i) лингвистическая переменная. Лингвистическая переменная определяется степенью принадлежности терм-множества $\{\tau_{i,M_i}\}$ к базовому множеству B_i элемента. Терм-множество представляет собой набор лингвистических значений

элемента, которые характеризуют типовые состояния, где M_i — число типовых состояний одного элемента. Нечеткие функции принадлежности из множества $M_i = \{\mu_i(b), b \in B_i\}$ используются для описания термов $\tau_{i,k}, k = \overline{1, M_i}$, соответствующих значениям элемента p_i .

Связи $v(p_i, p_j)$ в каждой паре элементов с типовыми состояниями задаются одним из значений $\left(v(p_i, p_j), \tau_{v(p_i, p_j)}, B_{v(p_i, p_j)} \right)$, где $\tau_{v(p_i, p_j)}$ — терм-множество лингвистической переменной $v(p_i, p_j)$.

Связи, нечетко характеризующие степень влияния между типовыми состояниями пар элементов, описанных нечеткими переменными, заданы функциями принадлежности. Задание таких взаимосвязей позволяет формировать продукционные модели в виде множества нечетких правил.

Функции принадлежности для всех переменных на каждом терме

$\left[\tau_k^L, \tau_k^R \right]$ задаются в виде:

$$\mu_k(x) = \left\{ \mu_k^L(x) = \exp\left(-\left((x-c_k)/\sigma_k^L\right)^2\right), x < c_k; \mu_k^R(x) = \exp\left(-\left((x-c_k)/\sigma_k^R\right)^2\right), x \geq c_k \right\}.$$

Так как центр терма определяется выражением $c_k = \left(\tau_k^L + \tau_k^R \right) / 2$, а коэффициенты σ_k^L, σ_k^R находятся из условия $\mu\left(\tau_{k-1}^R\right) = \mu\left(\tau_k^L\right) = 0.5$:

$$\sigma_k^L = \sqrt{\left(c_k - \tau_k^L\right) / \ln 2}, \quad \sigma_k^R = \sqrt{\left(\tau_k^R - c_k\right) / \ln 2}, \quad \tau_k^L = \tau_{k-1}^R, \quad \text{то множество термов и множество функций принадлежности входных и выходных переменных полностью определяются границами термов } \left[\tau_k^L, \tau_k^R \right].$$

На основе экспертной оценки формируется набор правил $R_j, j = 1, \dots, N$. Каждому правилу ставится в соответствие функция принадлежности условия и следствия. Правила, содержащие совпадающие следствия и имеющие отношение к одному и тому же взаимодействию, компоуются в одно правило с помощью логической суммы.

Количественный результат взаимодействия элементов определяется на основе нечеткого вывода. Нечеткое правило выражено следующим образом: $A \Rightarrow B$. Условие A представляем в виде:

$$\text{if } (x_1 \in A) \text{ AND } \dots (x_j \in A_j) \text{ AND } \dots (x_M \in A_M) \text{ then } (y \in B_i). \quad (2)$$

Для определения конечного уровня активации применяется оператор логического умножения для отдельных составляющих элементов условия в правиле: $\mu_A^j(x) = \min_i(\mu_A(x_i))$. Функция принадлежности, объединенная по всем правилам, определяется логическим суммированием: $\mu_B(y) = \max_{j=1,N}(\mu_A^j(x)\mu_B^j(y))$.

Для модели были определены следующие переменные: «Коэффициент загрязненности», «Экономический эффект». Они имеют следующие нечеткие характеристики: «Взвешенные вещества», «ХПК», «БПК», «Азот», «Фосфаты», «Нефтепродукты».

Для каждого компонента терм-множества T , представляющего нечеткую переменную a_i ($i = 1, 2, 3$), следует построить нечеткое множество A_i . Компонентами этого множества являются возможные значения нечеткой переменной a_i . Принадлежность этих значений множеству, определяемому семантикой термина a_i , задается функцией принадлежности. Таким образом, функция принадлежности представляет собой отображение $\mu_{\tilde{A}}(x) \rightarrow [0, 1]$, $x \in X$.

Функция принадлежности элемента x нечеткому множеству A интерпретируется как субъективная мера. Вычисление степеней принадлежности $\mu_{\tilde{A}}(x_i)$, $x_i \in X$ проводится на основании алгоритма обработки матрицы парных сравнений $M = \|m_{ij}\|$. Элементы этой матрицы представляют собой экспертные оценки того, насколько элемент x_i более значим для понятия, описываемого нечетким множеством A , чем элемент x_j . В соответствии с этим алгоритмом строятся функции принадлежности для лингвистической переменной («Коэффициент загрязненности», T, X), где $T = \{\text{«низкая загрязненность»}, \text{«средняя загрязненность»}, \text{«высокая загрязненность»}\}$, $X = \{0, 100\}$ – базовое множество.

Таким образом, использование математического моделирования на основе нечеткого вывода позволяет оценивать экологическую обстановку окружающей среды и осуществлять контроль над эколого-экономической безопасностью предприятия.

Реализация предлагаемой эколого-экономической модели позволяет получить интегральную оценку состояния экологической безопасности предприятия и сравнительные характеристики величин угроз эколого-экономической безопасности на основе их автоматизированной оценки.

При построении интегрального показателя экономической безопасности используется аддитивный вариант свертки частных критериев:

$$S = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I K_i X_{ij}, \quad (3)$$

где

S – интегральный показатель экономической безопасности предприятия, количество уровней в иерархии;

X_{ij} – значение индикатора;

K_i – весовой коэффициент;

I – количество индикаторов в блоке системы показателей;

J – количество блоков.

Использование данного метода позволяет осуществлять зонирование угроз эколого-экономической безопасности. Зоны значений индикаторов эколого-экономической безопасности дифференцированы на 3 уровня:

1) Зона высокой степени безопасности — отсутствие (слабое влияние) угроз безопасности.

2) Зона допустимого уровня безопасности — существенное действие угроз, требующее срочных, порой высокзатратных действий по нейтрализации и устранению возникших угроз.

3) Зона критического уровня безопасности — настолько значительное ослабление сопротивляемости угрозам, что система не в состоянии в короткий срок справиться с ними собственными силами.

Итоговым этапом определения уровня обеспечения эколого-экономической безопасности промышленных предприятий, являются рекомендации по комплексу необходимых мероприятий для предотвращения ущерба и минимизации потерь, а кроме того, оценка эффективности реализации таких мероприятий в каждом конкретном случае (табл. 2)

Оценка ожидаемого экономического эффекта проводилась по методике определения ожидаемого эффекта проекта, учитывающего количественные характеристики неопределенности [3, 4, 5, 6]. Это позволяет рассчитать обобщенный показатель эффективности проекта (ожидаемый интегральный эффект):

$$\mathcal{E}_{ож} = \sum_k \mathcal{E}_k p_k, \quad (4)$$

где $\mathcal{E}_{ож}$ – ожидаемый интегральный эффект проекта;

\mathcal{E}_k – интегральный эффект при k -м сценарии;

p_k – субъективная вероятность реализации этого сценария.

Таблица 2. Рекомендуемые мероприятия в области обращения с отходами

Наименование мероприятия	Экологический эффект	Экон. эффект, тыс. руб.
1	2	3
Вести журналы первичной отчетной документации по всем операциям образования, накопления, хранения и размещения отходов	Упорядочение хранения и вывоза отходов, контроль за их образованием	50-70
Проводить инструктаж по соблюдению правил обращения с отходами производства и потребления	Упорядочение обращения с отходами производства и потребления	100
Вывоз отходов с территории предприятия осуществлять в строгом соответствии с разрешением природоохранных органов	Исключение несанкционированного размещения отходов производства и потребления. Снижение влияния образующихся отходов на состояние окружающей среды	200-500
Своевременно получать лимиты на размещение отходов производства и потребления	Исключение несанкционированного размещения отходов производства и потребления	70-100
Операции по обращению с опасными отходами проводить в строгом соответствии с действующим законодательством в сфере обращения с отходами	Снижение влияния отходов на природную среду и здоровье людей	500-1000
Осуществлять селективный сбор отходов по классам опасности, видам, составу, агрегатному состоянию	Упорядочение хранения и вывоза отходов, контроль за их образованием	100-200
Ежегодно подтверждать неизменность производственного процесса (если таковое имеет место) и используемого сырья (Постановление Правительства РФ №461 от 16.02.2000г.)	Упорядочение обращения с отходами, исключая из несанкционированного размещения	100
Регулярно направлять специалистов на курсы экологического образования для повышения уровня экологических знаний в сфере обращения с отходами (Закон РФ «Об охране окружающей среды», ст.70)	Совершенствование системы управления качеством охраны окружающей среды на предприятии, повышение уровня экологического сознания специалистов	6-10
Проведение биотестирования для подтверждения V кл. оп 1 раз в 5 лет.	Приведение природоохранной документации в соответствие к требованиям законодательства РФ	20-50

При этом риск неэффективности проекта (P_3) и средний ущерб от реализации проекта в случае его неэффективности (Y_3) определяются следующим образом:

$$P_3 = \sum_k P_k ; Y_3 = \frac{\sum_k |\mathcal{E}_k| P_k}{P_3} . \quad (5)$$

Средства для работы с неопределённостью применительно к количественным характеристикам экологичности проекта реализуются в тех случаях, когда имеющейся информации недостаточно, чтобы делать статистические выводы с необходимым уровнем достоверности. Это позволяет разработать портфель проектов на основе их нечётких оценок путём ранжирования проектов или решения соответствующей

задачи математического программирования.

3. Заключение. Проведенное исследование на основе применения новых методов и возможностей для решения задач оценивания экологичности проектов, связанных с опасными отходами по классам опасности для окружающей природной среды, позволило учесть качественные характеристики проектов, преобразуя их в численный вид.

Гибкость и мощность методов теории нечётких множеств позволяют рассматривать их как перспективное и эффективное средство для оценивания эколого-экономической безопасности промышленных предприятий.

Литература

1. *Рогачев А.Ф., Кузьмин В.А.* Моделирование эколого-экономических систем с использованием алгоритмов нечеткого вывода // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2013. Выпуск № 1 (29).
2. *Скитер Н.Н.* Разработка системы поддержки принятия решений для обоснования параметров эколого-экономических систем / Н.Н. Скитер, А.Ф. Рогачев, Т.В. Плещенко // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса, ВГСХА. Волгоград. 2012. №2. С. 238–242.
3. *Коротеев М.В., Терелянский П.В.* Нечетко-множественная модель оценки рисков инвестиционных проектов // Известия Волгоградского государственного технического университета: меж-вуз. сб. науч. ст. №14 (87). Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2011. 196 с. – (Сер. Актуальные проблемы реформирования российской экономики (теория, практика, перспектива). Вып. 12. С. 189–193).
4. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (утв. Минэкономки РФ, Минфином РФ и Госстроем РФ от 21 июня 1999 г. № ВК 477).
5. *Непомнящий Е.Г.* Инвестиционное проектирование // Учебное пособие. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2003.
6. *Скитер Н.Н.* Моделирование и анализ эффективности государственного регулирования производственного сектора / Н.Н. Скитер, А.Ф. Рогачев // Экономические науки. 2010. №1 (62). С. 28–33.

Рогачев Алексей Фруминович — д.т.н., проф.: заведующий кафедрой математического моделирования и информатики Волгоградского государственного аграрного университета. Область научных интересов: моделирование, оптимизация параметров и поддержка принятия решений с применением информационных технологий в сложных технико-экономических системах. Число научных публикаций — 200. rafr@mail.ru; Университетский пр-т, 26, Волгоград, 400002, РФ; р.т. +7(8442)411-710.

Rogachev Alexey Fruminovich — Ph.D., Dc.Sci., Prof.; head, Department of Mathematical Modeling and Informatics, Volgograd State Agricultural University. Research interests: modeling, optimization of parameters and decision support with the use of information technologies in complex technical and economic systems. The number of scientific publications — 200. rafr@mail.ru; University prospect, 26, Volgograd, 400002, Russia; office phone +7 (8442) 411-710.

Шевченко Андрей Андреевич — к.э.н.; старший научный сотрудник лаборатории информационно-аналитических технологий в экономике СПИИРАН. Область научных интересов: анализ и синтез социально-экономических систем, оценивание эффективности их функционирования, потенциал социально-экономических систем. Число научных публикаций — 6. tot29@yandex.ru; 14 линия ВО, д.39, Санкт-Петербург, 199178, РФ; р.т. +7(812)328-3257, факс +7(812)328-4450.

Shevchenko Andrey Andreevich — Ph.D.; senior researcher, Laboratory for Information-Analytic Technologies for Economics, SPIIRAS. Research interests: analysis and synthesis of socio-economical systems, their functioning efficiency estimation, estimation of socio-economical systems capabilities. The number of scientific publications — 6. tot29@yandex.ru; 14-th Line V.O., 39, St.Petersburg, 199178, Russia; office phone +7(812)328-3257, fax +7(812)328-4450.

Кузьмин Всеволод Александрович — аспирант кафедры математического моделирования и информатики Волгоградского государственного аграрного университета; младший научный сотрудник отдела исследований экологической безопасности производств и сооружений Поволжского научно-исследовательского института эколого-мелиоративных технологий Российской академии сельскохозяйственных наук (ПНИ-ИЭМТ Россельхозакадемии). Область научных интересов: математическое моделирование с использованием методов нечеткой логики, исследование экологической безопасности сооружений и производств, экономическая безопасность. Число научных публикаций — 17. pniemt.kuzmin@yandex.ru; ул. Трехгорная, 21, Волгоград, 400012, РФ; р.т. +7(8442)541-403, факс +7(8442)541-387. Научный руководитель — А.Ф. Рогачев.

Kuzmin Vsevolod Alexandrovich — Ph.D. student, Department of Mathematical Modeling and Informatics of Volgograd State Agricultural University, junior researcher, Department of environmental safety of productions and facilities, Volga scientific-research Institute of ecological-meliorative technology of the Russian Academy of agricultural Sciences. Research interests: mathematical modelling using of fuzzy logic methods, research of environmental safety of facilities and industries, and economic security. The number of scientific publications — 17. pniemt.kuzmin@yandex.ru; Tryokhgornaya street, 21, Volgograd, 400012, Russia; office phone +7(8442)541-403, fax +7(8442)541-387. Scientific supervisor — A.F. Rogachev.

Поддержка исследований. В публикации представлены результаты исследований, выполненных при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Волгоградской области по проекту № 13-06-97075 "Математическое моделирование обеспечения экологической безопасности региона с учетом трансграничного загрязнения окружающей среды", рук. Рогачев А.Ф.

Рекомендовано лабораторией информационно-аналитических технологий в экономике, заведующий лабораторией Лысенко И.В., д.т.н., проф.
Статья поступила в редакцию 16.08.2013.

РЕФЕРАТ

Рогачев А.Ф., Шевченко А.А., Кузьмин В.А. **Оценивание эколого-экономической безопасности промышленных предприятий методами нечеткой логики.**

В статье предложен новый метод оценивания эколого-экономической безопасности промышленных предприятий с помощью аппарата нечеткой логики в системах искусственного интеллекта. Для оценки, анализа и визуализации эколого-экономических показателей исследуемого объекта разработана система нечетко-множественных моделей эколого-экономической безопасности в системе Mat Lab (Fuzzy Logic Toolbox).

Предложена схема формализации индикаторов, задаваемых на качественном уровне на основе функций принадлежности. Для определения формы функции принадлежности выявляются предельные, критические и высокие значения уровня эколого-экономической безопасности.

При описании элементов модели используется множество нечетких ситуаций, характеризующих пространство возможных состояний этих элементов, а также множество взаимосвязей между ними. Задание связей, нечетко характеризующих степень влияния между типовыми состояниями пар элементов, позволяет формировать продукционные модели в виде множества нечетких правил. Количественный результат взаимодействия элементов определяется на основе нечеткого вывода.

Реализация предлагаемой эколого-экономической модели, позволяет получить интегральную оценку состояния экологической безопасности предприятия и сравнительные характеристики величин угроз эколого-экономической безопасности на основе их автоматизированной оценки. На основе модели осуществляется зонирование угроз эколого-экономической безопасности.

На основе разработанной модели формулируются рекомендации по комплексу необходимых мероприятий для предотвращения ущербов и минимизации потерь, а так же оценивается эффективность их реализации в каждом конкретном случае.

Предложенный метод может использоваться для работы с неопределённостью в тех случаях, когда имеющейся информации недостаточно, чтобы делать статистически однозначные выводы об эколого-экономической безопасности с необходимым уровнем достоверности.

SUMMARY

Rogachev A.F., Shevchenko A.A., Kuzmin V.A. **Assessment of ecological and economic security of industrial enterprises by methods of fuzzy logic.**

In the article the authors proposed a new method of estimation of ecological and economic security of industrial enterprises with the help of the apparatus of fuzzy logic in artificial intelligence systems. For evaluation, analysis, and visualization of ecological-economic indicators of the investigated object has developed a system of fuzzy multiple models of ecological and economic security in the system of Mat Lab (Fuzzy Logic Toolbox).

The scheme formalization of indicators, asked at a qualitative level, on the basis of membership functions. To determine the form of membership functions are identified marginal, critical and high level of ecological and economic security.

While describing the elements of the model uses a lot of fuzzy situations that characterize the space of possible States of these elements, as well as a multitude of linkages between them. Specify relationships are not clearly characterize the degree of influence between the standard States pairs of elements, allows to form a productive models in the form of a set of fuzzy rules. The quantitative result of the interaction of elements is determined on the basis of fuzzy inference.

The implementation of the proposed ecological-economic model, lets get the integral assessment of the state of ecological safety of the company and comparative characteristics of values threats of ecological and economic security on the basis of their automated assessment. On the basis of the model is zoning threats of ecological and economic security.

On the basis of the developed model are formulated recommendations on a complex of measures necessary to prevent damage and minimize losses, and also assesses the effectiveness of their implementation in each case.

The proposed method can be used for uncertainty in cases where the available information is insufficient to make statistically unequivocal conclusions about the environmental and economic security with the necessary level of confidence.