

НЕЧЕТКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Рогачев А.Ф.¹, Федорова Я.В.²

¹ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный аграрный университет», Волгоград, Россия (400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26), e-mail: rafr@mail.ru

²ФГБОУ ВПО «Ростовский государственный экономический университет (РИНХ)», Ростов-на-Дону, Россия (344009, г. Ростов-на-Дону, ул. Б. Садовая, 69), e-mail: fyv21@mail.ru

Значительные масштабы проявления экологических проблем и сложности их решения, обусловленные экономическими причинами и отраслевыми особенностями, требуют научнообоснованных подходов, ориентированных на улучшение экологического состояния окружающей среды в условиях ограниченности располагаемых ресурсов. Производственная деятельность предприятий, особенно промышленных и сельскохозяйственных, связана с использованием природных ресурсов и воздействием на окружающую среду, что существенно отражается на состоянии эколого-экономической системы в целом. Во всем мире проблемы, касающиеся экологизации, признаются актуальными и приоритетными в направлении их разрешения. Поэтому с каждым годом все более жесткими становятся требования соотношения экономических и экологических параметров. В связи с этим возникает потребность в моделировании систем эколого-экономической безопасности для получения характеристик этих параметров.

Ключевые слова: эколого-экономическая безопасность, нечеткая логика, моделирование, промышленные предприятия, вредные отходы, комплекс мероприятий, экологизация.

FUZZY MODELING ECOLOGICAL AND ECONOMIC SYSTEMS

Rogachev A.F.¹, Fedorova Y.V.²

¹ Federal STATE budgetary educational institution of higher professional education "Volgograd state agricultural University, Volgograd, Russia (400002, Volgograd, PR-t University, 26), e-mail: rafr@mail.ru

² Federal STATE budgetary educational institution of higher professional education "Rostov state economic University (rinkh)", Rostov-on-don, Russia (344009, Rostov-on-don, Ul. B. Sadovaya, 69), e-mail: fyv21@mail.ru

Large scale manifestations of environmental problems and the complexity of their solution, due to economic reasons and industry characteristics, require evidence-based approaches aimed at improving the ecological state of the environment in conditions of limited available resources. Production activity of enterprises, especially industrial and agricultural, associated with the use of natural resources and impact on the environment, which significantly affects the state of the ecological-economic system as a whole. Worldwide issues related to greening, recognized the urgent and priority towards their resolution. So, every year, all become tougher requirements the balance of economic and environmental parameters. In this regard, there is a need for modeling systems of ecological and economic security to characterize these parameters.

Keywords: ecological-economic security, fuzzy logic, simulation, industrial plants, hazardous waste, complex activities, the greening.

Многообразие аспектов экологических проблем, значительные масштабы проявления и сложности их решения, обусловленные экономическими причинами и отраслевыми особенностями, требуют научнообоснованных подходов, ориентированных на улучшение экологического состояния окружающей среды в условиях ограниченности располагаемых ресурсов.

Реализация требований к устойчивому развитию современных экономических систем – от малых предприятий и различных отраслей до региональных экономик, предполагает эффективное управление любой экономической системой, которое связано с необходимостью оценки и поддержания механизмов ее безопасности. С этих позиций обеспечение устойчивого развития промышленных предприятий предполагает поддержание их эколого-экономической безопасности, характеризуемой способностью системы предприятия в сохранении своих

внутренних связей и характеристик функционирования в достаточно долгом периоде времени под влиянием внутренних и внешних факторов.

Эколого-экономическая безопасность представляет собой сложную социально-экономическую категорию, которая трактуется мировым сообществом как минимизация угроз для окружающей среды посредством комплекса мероприятий, обеспечивающая соблюдение защищенности интересов общества, региона, государства, а также ресурсов от различных форм воздействий и негативных процессов, создающих угрозы здоровью населения, устойчивому функционированию экологических систем и выживанию человечества.

В более узком смысле понятие «эколого-экономическая безопасность» трактуется как «состояние защищенности» природных ресурсов в результате функционирования промышленных предприятий, при котором минимизируется угроза окружающей среде со стороны объекта, связанного с возможностью оптимизации ущерба и моделирования затрат на поддержку экологии.

Для обеспечения эколого-экономической безопасности необходимо выявление и учет масштабов негативного воздействия производства, а также качественная и количественная оценка экономического ущерба от загрязнения природной среды, что может быть реализовано с помощью математического инструментария, позволяющего моделировать в условиях теоретико-вероятностной природы разнородных величин и прогнозировать результаты.

С учетом этого разработка теоретических подходов к эффективному обеспечению эколого-экономической безопасности и развития отраслевой экономики на основе моделирования последствий возникающих опасностей, а также экономических, организационных и иных мероприятий, направленных на оптимизацию, их локализацию и устранение негативных тенденций, а также предупреждение наступления событий, представляющих угрозу безопасности, обладает высокой актуальностью.

Эколого-экономическая безопасность во многом определяет устойчивость функционирования предприятий, о чем свидетельствуют статистические данные о росте аварийности объектов промышленной сферы, значительная доля которых относится к производственным объектам опасного назначения. Все это требует эффективного управления рисками, как экономическими, так и экологическими. В отдельных случаях экологические последствия техногенных катастроф являются центральным компонентом всех ущербов окружающей среде, значительно превышая ущербы техническим системам.

Наиболее распространенными загрязняющими веществами, выбрасываемыми производственными предприятиями в атмосферу, являются окись углерода, углеводороды, сернистый ангидрид [3]. Объемы загрязняющих веществ по ЮФО и его субъектам [5] по 2011 г. представлены в табл. 1.

Таблица 1

Выбросы в атмосферу наиболее распространенных загрязняющих веществ в субъектах ЮФО, тыс. т

Субъект ЮФО	2009г. 2011 г.						
	Твердые вещест- ва	Газообраз- ные и жидкие вещества	Окись углерода	Углево-д ороды	Сернис-т ыйангид- рид	Окислы азота	Всего
Южный федеральный округ, в т.ч.	<u>96,2</u>	<u>763,7</u>	<u>253,7</u>	<u>233,3</u>	<u>137,3</u>	<u>128,9</u>	<u>860,0</u>
	64,6	578,3	192,2	187,6	106,8	79,9	632,0
Краснодарский край	<u>11,4</u>	<u>135,2</u>	<u>47,2</u>	<u>61,2</u>	<u>5,0</u>	<u>17,9</u>	<u>146,6</u>
	8,9	152,4	35,1	87,0	6,3	19,0	161,3
Астраханская область	<u>2,4</u>	<u>122,6</u>	<u>55,5</u>	<u>12,1</u>	<u>46,7</u>	<u>6,7</u>	<u>125,1</u>
	2,2	129,4	58,5	16,9	47,2	5,3	131,5
Волгоградская область	<u>16,9</u>	<u>204,4</u>	<u>78,1</u>	<u>90,8</u>	<u>7,4</u>	<u>25,7</u>	<u>221,3</u>
	13,4	164,8	75,4	52,6	6,8	26,2	178,2
Ростовская область	<u>31,3</u>	<u>153,9</u>	<u>24,9</u>	<u>25,8</u>	<u>67,1</u>	<u>34,9</u>	<u>185,2</u>
	29,1	124,9	21,1	27,2	46,3	28,6	154,0
Республика Адыгея	<u>1,7</u>	<u>1,3</u>	<u>0,6</u>	<u>0,4</u>	<u>0,04</u>	<u>0,2</u>	<u>3,0</u>
	0,9	3,4	0,9	2,0	0,1	0,3	4,2
Республика Калмыкия	<u>0,1</u>	<u>4,1</u>	<u>1,2</u>	<u>2,3</u>	<u>0,07</u>	<u>0,4</u>	<u>4,2</u>
	0,1	3,5	1,2	1,7	0,1	0,4	3,6

В динамике наблюдается сокращение выбросов наиболее распространенных загрязняющих веществ в атмосферу, следовательно, улучшается экологическая безопасность регионов, но снижаются платежи за выбросы.

Моделирование эколого-экономической безопасности с учетом воздействия различных внешних и внутренних факторов на процесс ее обеспечения, а также разработка механизмов причинно-следственного взаимодействия элементов системы эколого-экономической безопасности для формализации процессов функционирования промышленного предприятия являются, безусловно, актуальными научными задачами, которые решаются в представленной работе.

Также актуальной является разработка методики обеспечения эколого-экономической безопасности на предприятии на основе предлагаемых решений средствами нечеткой логики в динамических условиях изменчивости внешней среды.

В современном научном мире поставлена задача сохранения, наряду с экономическим ростом, окружающей среды. Для этого необходимо в системе экономической статистики сформировать новое параметрическое пространство, способное отразить в себе как экономическое развитие, так и развитие окружающей среды. Сложившаяся в статистике в настоящее время ситуация отражает общий взгляд на окружающую среду, как на нечто

внешнее по отношению к экономике.

Эколого-математическая модель ЭБ может быть представлена в виде схемы модели объекта и в виде функциональной временной зависимости состояния объекта:

$$O(t) = f(X, A, G, Y, Q, I), \quad O(t) = f(X, A, G, Y, Q, I),$$

(1)

где G- вектор факторов состояния объекта (A) на входе, состояния управления (X), выходных факторов (G, Y) и факторов внешней среды (Q).

При этом все факторы рассматриваются как векторныевременные величины. При моделировании данного объекта могут быть применены различного вида модели и процессы для исследования тех или иных его элементов с определенной целью.

Особенностью экологии являются сложности проведения проверки математических моделей, поскольку определяющими в ней являются сложно воспроизводимые процессы, к тому же довольно продолжительные во времени. Поэтому основным направлением в моделировании экспериментов экологических процессов является информационное моделирование, создание теоретически схожих имитационных моделей, построенных на аппарате математической логики и реализуемых на ЭВМ.

Разработка нечетких моделей эколого-экономической безопасности промышленных предприятий позволяет получить численную оценку складывающейся эколого-экономической ситуации.

Наряду с классическими аналитическими методами целесообразно использовать инструментарий имитационного моделирования и аппарат нечетких множеств, реализованные, например, в системе компьютерного моделирования MatLab, что позволило разработать семейство нечетко-множественных моделей эколого-экономической безопасности для оценки, анализа и визуализации эколого-экономических показателей предприятий промышленной сферы.

Эколого-экономическая безопасность как научная категория имеет ряд специфических особенностей (рис.1).

- Системный характер ЭБ предполагает рассмотрение и учет того, что ее достижение и поддержание на приемлемом уровне требует преобразования всех сторон жизни общества, включая: формирование нового экологического мировоззрения, экологизацию структуры национальной экономики. При этом математические модели ЭБ должны рассматриваться в тесной связи с целевыми экономическими системами и представлять собой целостные структуры.
- Массовый характер присвоения ЭБ, как своеобразного жизненного блага.
- Противоречивый характер взаимодействия ЭБ с социумом.
- Неопределенный характер ЭБ, обуславливающий сложность ее количественного

оценивания.

- Неполное соответствие ЭБ, как социального блага, закону убывания ценности во времени.
- Приоритетность предполагает, что гарантии ЭБ должна находиться на одном уровне с гарантиями различных видов безопасности, в том числе личной, а также основных прав человека.

Принципы моделирования систем ЭБ должны учитывать, что эколого-математические модели — это комбинированные модели (логико-математические, математико-иконографические), представляющие определенный комплекс зависимостей математического характера, логических построений, схем, единую систему матриц, имеющую экологический и экономический смысл.

Рис. 1. Особенности эколого-экономической безопасности.

Исследовав особенности рассматриваемой предметной области и проанализировав математические методы, адекватные поставленным задачам и существующим условиям, появляется возможность моделирования эколого-экономической безопасности средствами нечеткой логики для выработки рекомендаций по выбору инструментария реализации метода нечеткой логики для моделирования эколого-экономической безопасности на уровне промышленного предприятия.

Моделирование с использованием математического аппарата является одним из основных инструментов эколого-экономического анализа. Под инструментарием понимается не только направленное использование математических методов и моделей, а также соответствующих технических средств для их реализации, но и методологический подход,

взгляд на экологические и эколого-экономические процессы, на их внутреннее содержание, свойства, динамику в математическом моделировании эксперимента. Использование эколого-математических методов и моделей позволяет получить новые качественные выводы об экономических процессах и явлениях в их тесной взаимосвязи с экономической обстановкой.

В качестве инструментария исследования сложных социально-экономических систем и процессов чаще всего применяют теорию нечетких множеств.

Сопоставляя нечеткие модели с другими известными методами, например с искусственными нейросетевыми структурами [1; 4], следует отметить их существенно большую наглядность и прозрачность, которая обусловлена их лингвистической интерпретацией в виде нечетких продукционных правил.

Для прикладных исследований четкие модели не всегда могут быть получены или являются слишком громоздкими. Информации о таких системах часто доступна лишь в виде экспертных данных. Такая информация может быть нечеткой и недостаточно полно определенной, чтобы быть представленной строгими математическими зависимостями. При этом информация о системе может быть разнородной, а оценка значений параметров - проводиться с использованием различных масштабов и шкал. Часто описание процессов функционирования этих систем доступно в форме эвристических предпочтений на основе конструкций естественного языка в виде нечетких правил или различного типа отношений. Неопределенность знаний о системе может быть связана с неопределенностью или нечеткостью выделения и описания границы системы, ее отдельных состояний, а также внешних входных и выходных воздействий.

Кроме того, релевантная обработка неопределенной информации, когда параметры и входные данные не являются точными и корректно заданными, также требует адекватных нечетких подходов.

Нечеткая логика, как и теория нечетких множеств, является одним из эффективных подходов к решению проблемы оценки уровня эколого-экономической безопасности.

Ряд авторов отмечают [1; 2; 5], что некоторые индикаторы эколого-экономической безопасности являются недоступными для точного измерения, включают индивидуальный характер компонент, невозможный оценить в количественном выражении. В терминах теории нечетких множеств этот компонент описывается как переменная лингвистического характера с множеством значений, а связь количественного значения индикатора с его качественным лингвистическим описанием задается так называемыми функциями *m*-принадлежности фактора нечеткому множеству.

Дальнейшее решение поставленной проблемы потребовало нечеткой характеристики набора переменных, участвующих в построении системы принятия решений.

С использованием системы Matlab применялись основные средства графического интерфейса пользователя, обеспечивающие доступ к инструментам нечеткой логики: редакторы системы нечеткого вывода, функции принадлежности, правил вывода, а также средства просмотра правил и поверхности вывода. При этом учитывалось, что правила нечетких множеств и функции принадлежности должны покрывать всю предметную область, на которой они определены, при этом осуществление перехода от одной функции к другой, сохраняя соответствующие принадлежности, не должно содержать разрывов, поскольку не должна содержать разрывов и поверхность вывода.

В качестве инструментального средства, реализующего рассмотренный подход, можно рекомендовать пакет прикладных программ FuzzyLogicToolbox среды компьютерной математики MatLab, позволяющий создавать системы нечеткого логического вывода и нечеткой классификации с возможностью их интегрирования в программу Simulink. Базовым понятием FuzzyLogicToolbox является FIS-структура, которая содержит данные для функционального отображения «входы-выходы». Структура получаемой системы нечеткого логического вывода представлена на рис. 2.

Рис. 2. Алгоритм системы нечеткого логического вывода.

На рис. 2 использованы следующие обозначения:

X - входной четкий вектор;

БН - блок нормирования. Здесь поступающий четкий сигнал вектора ε умножается на масштабный коэффициент $k_{\varepsilon,н} < 1$, преобразуется к интервалу, ограниченному $[-1,+1]$;

БФ - блок фаззификации формирует значение функции принадлежности, соответствующее нормированному значению $\varepsilon_{н}$;

БНВ - блок нечеткого вывода, в котором на основе нечеткой информации о векторе ε делается вывод о соответствующем нечетком множестве значений y , здесь реализуется инференц-процедура, в процессе которой агрегируются выводы отдельных правил. Результатом агрегирования являются «усеченные» нечеткие множества;

БДФ, БДН - блоки дефаззификации и денормирования выполняют обратные процедуры: по нескольким «усеченным» функциям принадлежности вычисляется четкое значение

нормированного значения y_n и соответствующее ему ненормированное значение $y = y_n / k_{y..n}$ ($k_{y..n} < 1$);

Y - выходной четкий вектор управляемых параметров экологической безопасности.

Исходными данными для оценки, анализа и визуализации эколого-экономических показателей исследуемого объекта в разработанной системе нечетко-множественных моделей эколого-экономической безопасности, а также их формализации в системе компьютерной математики MatLab, использовались годовые объемы размещаемых отходов производства и потребления.

В соответствии с изложенным подходом был разработан комплекс нечетких моделей в системе MatLabFuzzyLogicToolbox, позволяющий получить интегральную оценку состояния экологической безопасности промышленного предприятия.

По результатам проведенных численных экспериментов в системе Matlab были сформулированы рекомендации, согласно которым предпочтительными функциями принадлежности, по критериям качества и времени вывода, были признаны треугольные конфигурации, графики которых для двух соседних элементов терм-множеств пересекаются на заданном уровне. С ростом числа элементов лингвистических термов увеличивается качество вывода, однако установлено, что время вывода растет в большей степени, чем качество.

Таким образом, разработана методика и получены рекомендации по обеспечению требуемого уровня эколого-экономической безопасности на уровне промышленных предприятий. Моделирование систем обеспечения эколого-экономической безопасности позволило получить сравнительные характеристики этих величин при малозатратных регулирующих мерах на основе оценки трансграничного загрязнения окружающей среды с помощью интеллектуальных компьютерных систем.

Статья подготовлена 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».

Список литературы

1. Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С. Нечеткие модели и сети. - 2-е изд., стереотип. -- М.: Горячая линия-Телеком, 2012. – 284 с.
2. Долженко А.И. Нечеткие модели принятия решений в проектах создания информационных систем // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2007. — № 2. — С. 6–9.
3. Рогачев А.Ф., Кузьмин В.А. Моделирование эколого-экономических систем с использованием алгоритмов нечеткого вывода // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование [ФГБОУ

ВПО «Волгоградский ГАУ»]. – 2013. - Вып. № 1 (29). - С.230-235.

4. Рогачев А.Ф., Шубнов М.Г. Оценка прогнозного уровня урожайности на основе нейросетевых моделей динамики // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2012. - № 4. - С. 226-231.

5. Скитер Н.Н. Моделирование эколого-экономической политики на рынках энергоносителей / Н.Н. Скитер, А.Ф. Рогачев // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. - 2010. - № 1 (21)[Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://uecs.mcnip.ru>

Рецензенты:

Терелянский П.В., д.э.н., доцент, зав. кафедрой ИСЭ, Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград;

Скитер Н.Н., д.э.н., доцент, профессор кафедры страхования и финансово-экономического анализа, Волгоградский государственный аграрный университет, г. Волгоград.