

А. О. Баранов¹, Г. М. Мкртчян¹, В. Н. Павлов², Т. О. Тагаева²

¹ Новосибирский государственный университет
ул. Пирогова, 2, Новосибирск, 630090

baranov@ieie.nsc.ru
dekeko@lab.nsu.ru

² Институт экономики
и организации промышленного производства СО РАН
пр. Акад. Лаврентьева, 17, Новосибирск, 630090

antpav@ieie.nsc.ru
tagaeva@ieie.nsc.ru

НЕЧЕТКИЙ АНАЛИЗ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В МОДЕЛИРОВАНИИ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РОССИИ¹

В настоящее время большинство отечественных и зарубежных исследователей полагают наличие неопределенности одним из неперенных свойств больших систем. Под неопределенностью понимается невозможность однозначного определения будущих значений выходных показателей системы на основе информации об их предыстории и значений входных показателей.

Общепринятой является точка зрения на экономические объекты как на сложные большие системы. Следовательно, экономика страны в целом и ее отдельные элементы обладают неопределенностью как одним из свойств сложных систем. В экономической литературе, посвященной проблемам неопределенности, большое внимание уделено причинам этого явления [1–3].

Одна из них – неопределенность используемой исходной информации, неполнота наших знаний об изучаемом процессе. Мы не можем сказать ничего определенного о будущих значениях выходных показателей системы на основе информации о значениях входных параметров, так как имеющаяся информация будет неполной.

Другая причина неопределенности – случайное поведение во время функционирования системы описывающих ее показателей, которые определены в начале рассматриваемого процесса. В процессе функционирования системы могут возникнуть такие случайные события, возмущения, шоки, воздействия на систему, которые не позволят однозначно определить будущие значения ее выходных показателей. Существуют внешние и внутренние факторы неопределенности такого типа. Можно выделить следующие группы внешних факторов. Одна из них связана с обеспеченностью различными видами ресурсов (изменение условий экспортно-импортных поставок, объемов продаж отраслей-поставщиков ресурсов, для добывающих отраслей – изменение их сырьевой базы по запасам полезных ископаемых). Другая связана с возможным изменением природно-географических и горно-геологических условий, а также политической ситуации в стране и за рубежом.

Внутренние факторы неопределенности включают изменение внутренних условий производства – интенсивности, структуры и эффективности научно-технического прогресса, механизма функционирования экономических объектов, технологической и организационной структуры производства. Внутренними факторами обуславливается и неопределенность, связанная с природой самого человека: такими «естественными» – болезни, несчастные случаи,

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2006–2008 годы)» Федерального агентства по образованию Министерства образования и науки РФ, проект № РНП.2.1.3.2428 «Исследование макроэкономических процессов в России с использованием межотраслевых моделей с нечеткими параметрами».

способности и склонности и т. д.; «экономическими» – текучесть рабочей силы, экономические преступления, экономическая заинтересованность и т. п.

Как видно из рассмотрения причин неопределенности экономических процессов, достаточно большая доля факторов носит «природно-экологический» характер. С одной стороны, это непредсказуемые изменения климатических условий, в том числе экологические катастрофы: землетрясения (например, в Турции, 1999 г.), цунами (Малайзия, Таиланд, 2004 г.), ураганы (Московский, 1998 г.; Рита, Катрина, 2005 г.). С другой – техногенные аварии, наносящие непоправимый ущерб окружающей природной среде (Семипалатинск, Чернобыль, Челябинский комбинат по переработке отходов ядерного топлива «Маяк»). Согласно результатам исследований, проведенных World Watch Institute [4], с каждым годом количество катастроф на Земле растет, увеличиваются экономические потери и количество жертв (табл. 1). Постоянное присутствие случайных факторов данного характера приводит к необходимости их учета при моделировании развития эколого-экономических систем.

Таблица 1

Динамика крупных стихийных бедствий в мире (число бедствий)

Вид ущерба	1963 – 1967 гг.	1968 – 1972 гг.	1973 – 1977 гг.	1978 – 1982 гг.	1983 – 1987 гг.	1988 – 1992 гг.
Более 100 пострадавших	89	98	95	138	162	205
Пострадало более 1 % населения страны, потерпевшей бедствие	39	54	56	99	116	139
Потеряно более 1 % валового внутреннего продукта страны, потерпевшей бедствие	16	15	31	55	58	66

На экономическом факультете НГУ совместно с сектором межотраслевых исследований народного хозяйства Института экономики и организации промышленного производства СО РАН (ИЭОПП СО РАН) выполняются прогнозные расчеты эколого-экономического развития России с использованием комплекса динамических моделей российской экономики КАМИН (система Комплексного Анализа Межотраслевой ИНформации) с экологическим блоком. Ниже (рис. 1) представлена краткая схема системы КАМИН с блоком охраны окружающей среды (блок ООС):

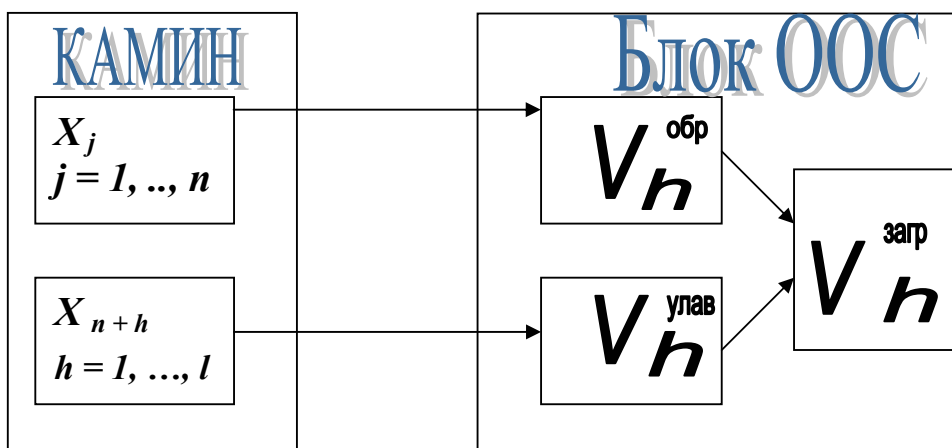


Рис. 1. Краткая схема системы КАМИН

В основном блоке системы КАМИН осуществляется моделирование объемов производства и инвестиционных процессов в отраслях промышленности и народного хозяйства. Помимо n традиционных отраслей народного хозяйства выделяются l видов природоохранной деятельности (на данном этапе исследования представлены охрана атмосферного воздуха и водоохранная деятельность, $l = 2$). Для данных сфер природоохранной деятельности в системе

КАМИН моделируется процесс воспроизводства основных природоохранных фондов, процесс формирования экологических затрат.

Экологический блок описывает материально-вещественные показатели экологических процессов. В зависимости от объемов выпуска продукции в традиционных отраслях народного хозяйства (X_j) с использованием отраслевых коэффициентов образования загрязнений воды и воздуха на единицу произведенной продукции определяется объем образования загрязнений непосредственно в процессе производства ($V^{обp}_h$); в зависимости от текущих затрат на предотвращение загрязнений (X_{n+h}) – объем улавливания или уничтожения загрязнений ($V^{улав}_h$). Объем загрязнений, попадающих в окружающую природную среду без очистки ($V^{загр}_h$), моделируется как разность между образованными в процессе производства загрязнениями и объемами их улавливания. Более подробно описание экономического и экологического блоков модельного комплекса и методики формирования исходной информации представлено в [5].

Однако система КАМИН и экологический блок в системе КАМИН первоначально были разработаны в детерминированном варианте. Попытки представить экономические связи в форме функциональных математических зависимостей, предполагающих однозначное соответствие между параметрами модели, не учитывают чрезвычайно сложный, вероятностный характер экономических (в том числе эколого-экономических) процессов. В частности, в проводимых ранее прогнозных расчетах по моделированию влияния развития экономики России на загрязнение водных и воздушных ресурсов коэффициенты образования загрязнений на единицу валового выпуска (далее – ВВ) в целом по народному хозяйству и его отраслям брались неизменными на уровне базового года.

Таблица 2

Динамика удельных показателей загрязнения водных* и воздушных ресурсов
(в ценах 2000 г.)**

Год	Коэффициенты образования на единицу ВВ	
	загрязненных сточных вод	атмосферных загрязнений
1980	1,49	9,04
1981	1,44	8,68
1982	1,38	8,41
1983	1,34	8,10
1984	1,30	8,04
1985	1,25	7,79
1986	1,16	7,31
1987	1,14	7,00
1988	1,14	6,46
1989	1,21	6,19
1990	1,19	5,80
1991	1,32	6,12
1992	1,53	6,29
1993	1,82	6,69
1994	2,11	7,19
1995	2,25	7,69
1996	2,24	7,64
1997	2,26	7,43
1998	2,26	7,16
1999	2,04	7,01
2000	1,79	6,84
2001	1,67	6,07
2002	1,59	5,52
2003	1,43	5,20

* Кубических метров на 1 тыс. руб., до 1998 г. на 1 млн руб. ВВ.

** Тонн на 1 млн руб., до 1998 г. на 1 млрд руб. ВВ – по стационарным источникам.

Детерминистический подход к рассмотрению удельных коэффициентов образования загрязнений исходит из стабильности данных показателей и возможности принятия ими значений базового года для выполнения прогнозных расчетов. Однако при таком подходе невозможно учесть в модели условия неопределенности будущего развития.

Анализ вариации коэффициента образования загрязненных сточных вод на 1 тыс. руб. ВВ и коэффициента образования атмосферных загрязнений на 1 млн руб. ВВ за период с 1980 по 2003 г. показывает, что эти коэффициенты существенно изменялись. Так, коэффициент вариации для коэффициента образования загрязненных сточных вод составил 24,4 %. Этот же показатель для коэффициента образования атмосферных загрязнений – 13,9 %.

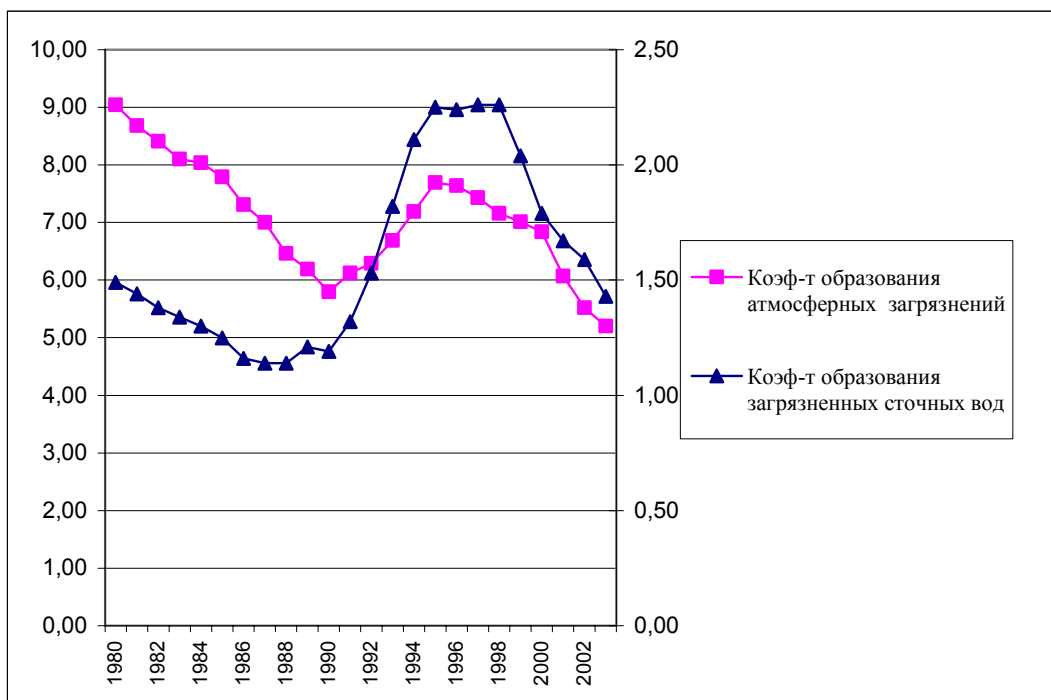


Рис. 2. Динамика коэффициента образования загрязненных сточных вод (куб. м на 1 тыс. руб. ВВ – правая шкала) и коэффициента образования атмосферных загрязнений (тонн на 1 млн руб. ВВ – левая шкала) в 1980–2003 гг.

Анализ данных табл. 2 и рис. 2 показывает значительное различие между минимальными и максимальными значениями рассматриваемых коэффициентов. Максимальное значение коэффициента образования загрязненных сточных вод в 1998 г. было равно 2,26 куб. м на 1 тыс. руб. ВВ, а минимальное в 1987–1988 гг. – 1,14 куб. м на 1 тыс. руб. ВВ. Следовательно, максимальное значение данного показателя в рассматриваемом периоде было примерно в два раза больше его минимального значения. Разброс между максимальным (9,04 в 1980 г.) и минимальным (5,2 в 2003 г.) значениями коэффициента образования атмосферных загрязнений на 1 млн руб. ВВ за период с 1980 по 2003 г. составляет 1,7 раза.

Исходя из полученных коэффициентов вариации, а также из сопоставления минимальных и максимальных значений рассматриваемых выше двух коэффициентов можно сделать вывод о том, что при прогнозировании развития экономики на средне- и долгосрочную перспективу предположение об их стабильности является слишком сильным.

Факторы, связанные с изменением технологий производства в различных отраслях, условий добычи полезных ископаемых, структурные сдвиги в экономике и ряд других факторов приводят к тому, что значение двух рассматриваемых в данном исследовании важнейших показателей, характеризующих загрязнение окружающей среды, заметно изменяется в средне- и долгосрочном плане. Следовательно, более адекватное описание прогнозной динамики значений коэффициента образования загрязненных сточных вод на 1 тыс. руб. ВВ и коэффициента образования атмосферных загрязнений на 1 млн руб. ВВ требует рассмотрения этих показателей как неопределенных величин.

Математическое описание неопределенности опирается на две математические теории: теорию вероятностей и теорию нечетких множеств. В данном проекте нами предлагается методика, устанавливающая математическую связь между этими двумя подходами к описанию неопределенности и основанная на интервальном представлении данных. Кратко суть методики заключается в следующем.

Пусть ζ есть некоторая m -мерная вещественная случайная величина, ζ – соответствующая вероятностная мера, и $\Phi: R^m \rightarrow [0, 1]$ – функция распределения этой случайной величины.

Определим отображение $\bar{\lambda}_a: R^m \rightarrow [0, 1]$ формулой (см. [6])

$$\bar{\lambda}_a(x) \stackrel{df}{=} \lambda(x_a) \equiv \int_{x-\frac{a}{2}}^{x+\frac{a}{2}} d\Phi(t), \quad (1)$$

где через $\int_a^b d\Phi(t)$ обозначен интеграл Стильеса по параллелепипеду

$$Q = \{ t \in R^m \mid a_k \leq t_k < b_k \} = [a, b).$$

Отображение $\bar{\lambda}_a$ при любом $a > 0$ представляет собой функцию принадлежности некоторого нечеткого множества. Это множество порождено случайной величиной ζ , причем согласно определению (1) число $\bar{\lambda}_a(x)$ представляет собой вероятность того, что случайная величина ζ принимает значения из параллелепипеда x_a , т. е. что в результате наблюдения за случайной величиной ζ мы получим значение из параллелепипеда x_a .

Нечеткое множество, функцией принадлежности которого является $\bar{\lambda}_a$, будем называть множеством, порожденным интервальным представлением случайной величины ξ .

Опираясь на вид формулы (1), можем говорить, что параметр a характеризует точность нечеткого представления случайной величины ξ . Уменьшение каждой компоненты вектора a увеличивает точность представления. Увеличение каждой компоненты вектора a уменьшает точность представления. Основу интерпретации прикладных результатов составляют рассмотренные ниже свойства нечеткого множества, которые доказаны в [7].

Свойство 1. Согласно формуле (1) при фиксированном $x \in R^m$ значение $\bar{\lambda}_a(x)$ является монотонно возрастающей функцией параметра a . Более того, при любом $x \in R^m$ справедливы равенства

$$\lim_{\substack{a \rightarrow 0 \\ a > 0}} \bar{\lambda}_a(x) = 0, \quad \lim_{\substack{a \rightarrow \infty \\ a > 0}} \bar{\lambda}_a(x) = 1,$$

когда к бесконечности стремятся сразу все компоненты вектора a .

Свойство 2. Уменьшение точности нечеткого представления случайной величины ξ (увеличение каждой компоненты вектора a) для каждого $x \in R^m$ при прочих равных приводит к увеличению правдоподобности принадлежности числа x нечеткому образу этой случайной величины.

Свойство 3. Увеличение точности нечеткого представления случайной величины ξ (уменьшение каждой компоненты вектора a) для каждого $x \in R^m$ при прочих равных приводит к уменьшению правдоподобности принадлежности числа x нечеткому образу этой случайной величины.

Кратко методика применения интервального представления данных к построению нечетких макроэкономических показателей заключается в следующем.

1. Генерируется выборка значений макропоказателя z , или она формируется на основе имеющихся отчетных статистических данных.

2. По выборке значений макропоказателя строится эмпирическая функция распределения этого показателя, и по формуле (1) приближенно строится функция принадлежности нечеткого образа.

Данная работа была проделана в условиях, когда в качестве макропоказателя z рассматривались коэффициент образования загрязненных сточных вод и коэффициент образования загрязняющих атмосферу веществ на единицу ВВ. В качестве выборки значений макропоказателей были использованы данные табл. 2. На рис. 3 и 4 представлены примеры применения метода нечеткого представления данных для анализа экологических параметров.



Рис. 3. Использование метода нечеткого представления данных на примере коэффициента образования загрязненных сточных вод (куб. м на 1 тыс. руб. ВВ, цены 2000 г.)



Рис. 4. Использование метода нечеткого представления данных на примере коэффициента образования атмосферных загрязнений (тонн на 1 млн руб. ВВ, цены 2000 г.)

Методика применения интервального представления данных показывает, что для оценки объемов образования атмосферных и водных загрязнений в процессе прогнозирования с использованием модельного комплекса КАМИН более правильно принимать значения удельных коэффициентов не на уровне базового года, а обладающих наибольшей степенью правдоподобия, например: удельный коэффициент образования загрязненных сточных вод, равный 1,62 куб. м на 1 тыс. руб. ВВ (значение функции правдоподобия 0,85 – см. рис. 3), удель-

ный коэффициент образования основных загрязняющих атмосферу веществ – 7,06 тонн на 1 млн руб. ВВ (значение функции правдоподобия 0,99 – см. рис. 4).

Таким образом, размытое представление коэффициентов дает возможность провести анализ экологических проблем с учетом неопределенности, оценить степень правдоподобности каждого варианта и выполнить более обоснованный прогноз экологической ситуации.

Список литературы

1. *Бахтин А. Е. и др.* Исследование влияния неопределенности при моделировании производственных процессов / А. Е. Бахтин, О. Д. Бражникова, В. Д. Соколов // Моделирование и анализ экономических процессов. Новосибирск: Наука, 1985.
2. *Соколов В. Г., Смирнов В. А.* Исследование гибкости и надежности экономических систем. Новосибирск: Наука, 1990.
3. *Головченко В. Б.* Прогнозирование временных рядов по разнородной информации. Новосибирск: Наука, 1999.
4. *Майбуров И. А. и др.* О некоторых аспектах реализации механизмов Киотского протокола в регионах РФ / И. А. Майбуров, И. В. Манохина, Е. Б. Мишина // Экологические проблемы промышленных регионов. Екатеринбург: Изд-во АМБ, 2006.
5. *Baranov A. O. et al.* Analysis and Forecast of the State of Environmental Protection in Russia with Use of a Dynamic Input-Output Model / A. O. Baranov, V. N. Pavlov, T. O. Tagaeva // Environmental and Resource Economics. Kluwer Academic Publishers (the Netherlands), 1997. № 9. P. 21–42.
6. *Павлов А. В., Павлов В. Н.* Нечеткая оптимизация / Препринт. Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2000.
7. *Павлов А. В.* Интервальный метод построения нечетких макроэкономических показателей: Дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2004.