

УДК 504

## НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ И ПРОЦЕДУРЫ ПРОГНОЗНЫХ ОЦЕНОК ОСНОВНЫХ ВИДОВ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ИННОВАЦИОННЫМ ПРОИЗВОДСТВАМ

В.А. РЫБАК, Д.В. МАЛИК

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь

Поступила в редакцию 10 февраля 2011

Предложена новая методика прогнозирования параметров ресурсообеспеченности инновационных производств, основанная на применении теории нечетких множеств. Рассчитаны прогнозные оценки основных показателей, характеризующих воздействие хозяйственной деятельности на окружающую среду и использование природных ресурсов в Республике Беларусь.

*Ключевые слова:* прогнозирование, теория нечетких множеств, ресурсообеспеченность.

### Введение

При обработке статистических данных, касающихся наличия природных ресурсов и числовых параметров инновационных проектов, часто встает задача прогнозирования рассматриваемых числовых рядов на ближайшую перспективу. Сложность в получении адекватных прогнозов состоит в наличии неустранимой неопределенности, которая связана с рядом факторов, основные из которых: наличие многих самостоятельных участников рынка, неповторяемость ситуаций, воздействие внешней среды.

Как показано авторами в работе [1], неопределенность может быть учтена с использованием теории нечетких множеств. При этом, в случае использования экспертных оценок последние задаются в интервально-нечетком виде.

Наличие адекватных прогнозов приобретает особую актуальность при планировании новых, инновационных проектов, которые являются непосредственными потребителями природных ресурсов, и позволяет, например, избежать ситуации отсутствия достаточного количества поверхностных вод для реализации теплоэлектростанций в каждом административном районе страны.

### Методика

Для прогнозирования уровня обеспеченности природными ресурсами реализуемых инновационных проектов и их эколого-экономических параметров нами предлагается следующая методика.

1. Регрессивный числовой ряд, содержащий фактические количественные показатели за истекшие периоды (предпочтительно не менее 7), обрабатывается с целью построения наиболее адекватной аппроксимирующей кривой. При этом из возможных моделей (линейной, логарифмической, полиномиальной, степенной, экспоненциальной и др.) выбирается та, у которой величина достоверности аппроксимации наибольшая.

Для приведенного на рис. 1 ряда наиболее адекватной оказалась полиномиальная модель ( $R^2 = 0,9593$ ). При этом на рис. 1 линейной модели соответствует аппроксимирующая кри-

вая под номером 1, логарифмической – 2, полиномиальной – 3, степенной – 4 и экспоненциальной – 5.

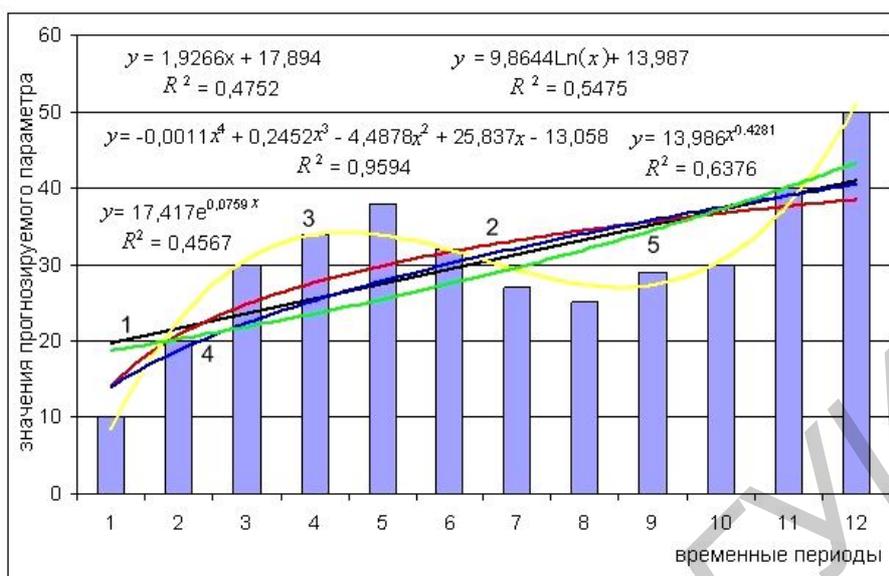
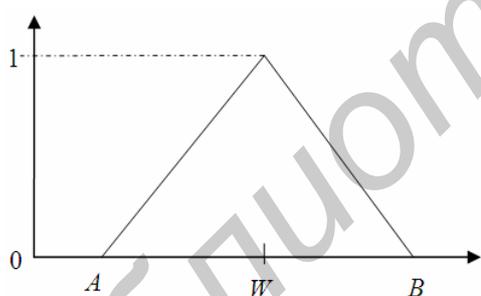


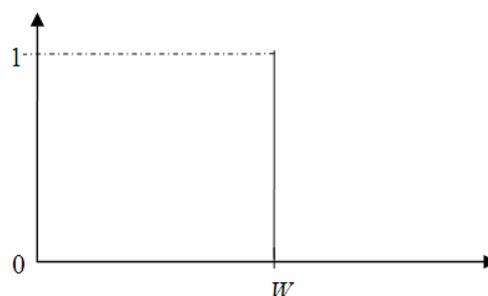
Рис. 1. Пример построения аппроксимирующих кривых

2. На основании полученного на предыдущем шаге уравнения рассчитываем прогноз для предстоящих временных интервалов. Для  $x = 13$  прогнозное значение для полученного уравнения  $W = 71,68$ .

3. Рассчитанное прогнозное значение представляем в виде нечеткого множества: при  $R^2 < 1$  ( $R$  – величина достоверности аппроксимации) форма функции принадлежности будет иметь треугольный вид (рис. 2,а), при  $R^2 = 1$  – вертикальная линия (рис. 2,б). При этом основание треугольника будет равно произведению рассчитанного значения на удвоенную разность единицы и величины  $R^2$  ( $AB = 2W(1-R^2) = 5,83$ ).



а



б

Рис. 2. Пример представления прогнозного значения в нечетком виде

4. Для учета экспертной оценки формируем нечеткое множество, отражающее наиболее ожидаемое значение прогнозируемого параметра (рис. 3).

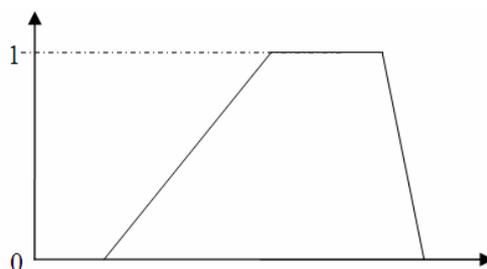


Рис. 3. Представление экспертной оценки в нечетком виде

5. Результирующее значение прогноза в виде нечеткого множества  $C$  находим как сумму двух нечетких множеств  $A$  и  $B$ :  $C = A \cup B$ . При этом функция принадлежности множества  $C$  имеет вид:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (1)$$

для каждого  $x \in X$ . Графическая интерпретация этой операции представлена на рис. 4.

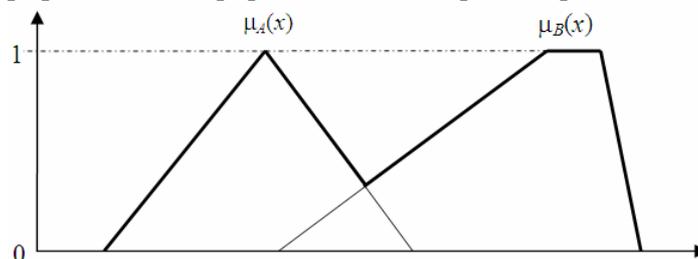


Рис. 4. Графическое представление операции суммирования нечетких множеств

6. Оценка уровня неопределенности полученного прогноза в виде нечеткого множества может быть получена на основании значения  $\gamma = 1 - ((S_0 - S)/S_0)$  или  $\gamma = S/S_0$ ,  $\gamma \in [0, 1]$ , где  $S_0$  – площадь под прямоугольной функцией принадлежности, равная ширине;  $S$  – площадь под кривой функции принадлежности, полученной в результате расчетов.

При этом большим значениям  $\gamma$  будет соответствовать больший уровень неопределенности.

7. Для получения четкого числа используем методы дефазификации – преобразования нечеткого множества к четкой форме – методы центра тяжести и среднего центра. В случае если пересечением множеств  $A$  и  $B$  является не пустое множество  $D = A \cap B \neq \emptyset$ , предпочтительнее использовать метод центра тяжести. Искомое значение  $\bar{y}$  при этом рассчитывается как центр тяжести функции принадлежности  $\mu_B(y)$ , т.е.:

$$\bar{y} = \int_Y y \mu_{B^k}(y) dy / \int_Y \mu_{B^k}(y) dy = \int_Y y \max \mu_{B^k}(y) / \int_Y \max \mu_{B^k}(y) \quad (2)$$

при условии, что оба интеграла в приведенном выражении существуют.

В случае непересечения множеств  $A$  и  $B$  для дефазификации используем метод по среднему центру. Значение  $\bar{y}$  рассчитывается по формуле:

$$\bar{y} = \sum_{k=1}^N \mu_{B^k}(\bar{y}^k) \bar{y}^k / \sum_{k=1}^N \mu_{B^k}(\bar{y}^k), \quad (3)$$

где  $\bar{y}^k$  – это точка, в которой функция  $\mu_{B^k}(y)$  принимает максимальное значение, т.е.  $\mu_{B^k}(\bar{y}^k) = \max_y \mu_{B^k}(y)$ . Точка  $\bar{y}^k$  называется центром нечеткого множества  $B^k$ . На рис. 5 представлена идея этого метода. Обратим внимание, что значение  $\bar{y}$  не зависит от формы и носителя функции принадлежности  $\mu_{B^k}(y)$ .

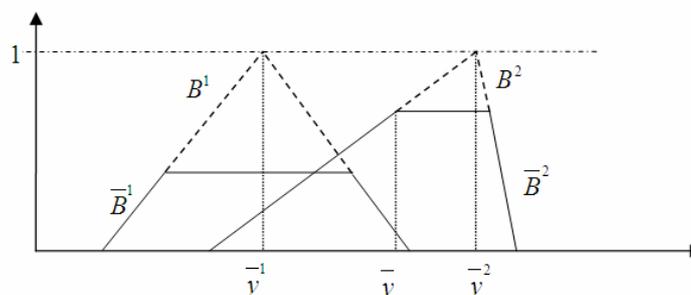


Рис. 5. Дефазификация по среднему центру

8. Для учета значимости экспертной оценки в результирующем прогнозном значении будем использовать коэффициент  $\lambda \in [0..1]$ . С учетом этого формула (1) примет вид:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x) = \max([\lambda \mu_A(x), (1-\lambda) \mu_B(x)]) \quad (4)$$

Для нормализации нечеткого множества используется формула:

$$\mu_{C_N} = \mu_C(x) / h(C), \quad (5)$$

где  $h$  – высота нечеткого множества  $C$ .

Для примера использования разработанной нами методики рассчитаем прогноз объема выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от передвижных источников на ближайшие два года. Исходные статистические данные за прошедшие годы представлены в таблице [2].

Наиболее точно динамику изменения выбранного показателя отражает полиномиальная кривая аппроксимации третьей степени, величина достоверности при этом составит  $R^2 = 0,9027$  ( $y = -0,8377x^3 + 32,917x^2 - 350,52x + 2057,3$ ). Исходя из этого, объем выбросов в 2011 г. ожидается на уровне 1307, а в 2012 г. – 1383 тыс. т.

Далее, согласно методике, представим полученные ожидаемые значения в виде нечетких множеств с учетом величины достоверности  $R^2$ . Ширина основания треугольника для первого прогнозного значения составит 254, для второго – 269. Ожидаемый автором объем выбросов в 2011, 2012 г. описывается нечеткими множествами, представленными на рис. 6.

Сумма нечетких множеств, рассчитанная по формуле (1) для прогноза на 2011 г. представлена на рис. 7.

Деффазификация нечеткого множества по методу центра тяжести (2) дает значение 1296 тыс. т. – это и есть искомый прогноз объема выбросов на 2011 г. при  $\lambda = 0,5$ . Для 2012 г. расчетное прогнозное значение составляет 1364,4 тыс. т.

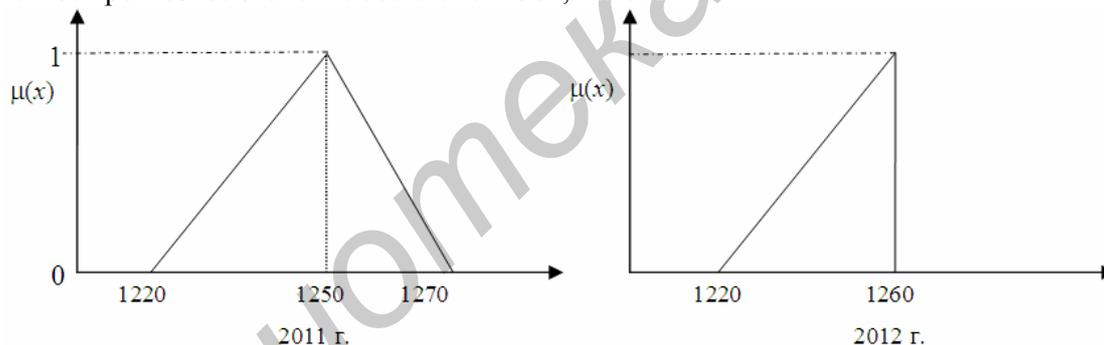


Рис. 6. Представление экспертной оценки в виде нечетких множеств

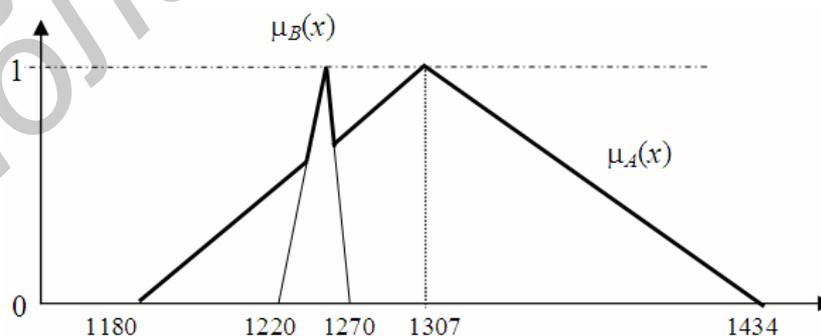


Рис. 7. Графическое представление полученной суммы

**Основные показатели, характеризующие воздействие хозяйственной деятельности на окружающую среду и использование природных ресурсов**

Название показателя	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Прогноз*	
										2011	2012
Забор воды из природных источников для использования – всего, млн. м <sup>3</sup>	1837	1833	1824	1797	1760	1706	1674	1618	1566	1505	1380
в том числе из подземных горизонтов	1082	1086	1079	1064	1038	1012	987	938	896	821	767
Сброс загрязненных сточных вод, млн. м <sup>3</sup>	25	23	20	15	11	10	9	9	11	8	6
Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух – всего тыс. т	1341	1319	1307	1327	1360	1418	1561	1531	1597	1721	1607
в том числе от стационарный источников	388	392	379	372	415	404	423	408	396	357	290
от передвижных источников	953	927	928	955	945	1014	1138	1123	1201	1364	1317
Нарушено земель в результате хозяйственной деятельности, тыс. га	43	36	27	22	21	21	20	21	22	23	19
из них отработано	10	7	4	3	3	3	3	3	2	2	2
Рекультивировано, тыс. га	3	4	5	4	2	1	1	1	1	1	1

\* Прогноз получен с использованием предложенной методики

### Заключение

Полученный таким образом прогноз лишен ряда недостатков (недостаточность статистической информации для обоснованного применения вероятностных методов, высокая доля субъективизма при экспертном назначении оценок вероятностей, отсутствие полноты системы классификации неопределенности) и более адекватно отражает динамику изменения исследуемых параметров.

## SCIENTIFICALLY-METHODICAL PRINCIPLES AND PROCEDURES OF FORECAST ESTIMATIONS OF PRINCIPAL VIEWS OF NATURAL RESOURCES WITH REFERENCE TO INNOVATIVE MANUFACTURES

V.A. RYBAK, D.V. MALIK

### Abstract

The new technique of forecasting of parameters of resources supporting the innovative manufactures, based on application of the theory of fuzzy sets, is offered. Forecast estimations of the basic indicators characterizing influence of economic activities on environment and use of natural resources in Belarus are calculated.

### Литература

1. Рыбак В.А. Методологические основы принятия решений для управления природоохранной деятельностью. Минск, 2009.
2. Статистический ежегодник Республики Беларусь. Минск, 2009.