

EDN: EIDFLX

УДК 628.477:615.46/.45

**В. Н. РАДИОНЕНКО**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

## **О ПЕРСПЕКТИВАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЧЁТКИХ ОБОБЩЁННЫХ КРИТЕРИЕВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ПРИМЕРЕ ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

**Аннотация.** В статье рассмотрен вопрос о возможном использовании моделей неопределенности для определения качества окружающей природной среды. Проанализированы практические модели неопределенности, которые не связаны с концепцией случайности, а отражают неполноту наших знаний об изучаемом объекте и его взаимодействии с окружающей средой. На основании проведенного анализа предложено рассмотреть гибкую модель поиска обобщенного критерия качества окружающей природной среды, которая базируется на многокритериальной природе процесса принятия решения и уменьшении неопределенности, возникающей в случае конфликта и нечеткости целей при наличии многих локальных критериев. Для решения проблемы поиска обобщенного критерия качества окружающей среды предложено рассмотреть как вариант использования нечеткого нелинейного программирования с несовместимыми критериями, переменными управления и нелинейными ограничениями. Для более четкого и взвешенного решения поставленной задачи обосновано применение концепции оптимальности по Парето. В результате, предложенный нечеткий обобщенный критерий определения качества окружающей природной среды способен агрегировать множество показателей различной природы воздействия и служит определённой мерой для анализа функционирования теплоэлектростанций.

**Ключевые слова:** теплоэлектростанция, качество среды, критерий качества, модель неопределенности, вектор, параметры, функция принадлежности.

### **ЦЕЛЬ**

Анализ классических моделей неопределенности с целью возможного их использования для определения качества окружающей природной среды на примере функционирующих теплоэлектростанций.

### **ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ**

По состоянию на текущий период на территории Донецкой Народной Республики функционирует две теплоэлектростанции (Зуевская ТЭС и Старобешевская ТЭС). Доподлинно известно, что ТЭС оказывают негативное воздействие на окружающую природную среду.

ТЭС производят электрическую и тепловую энергию. Основная масса топлива превращается в выбросы, поступающие в окружающую среду в виде газообразных и твёрдых продуктов сгорания. Воздействие ТЭС на окружающую среду принято разделять на:

- физические воздействия, включающие в себя: акустическое и электромагнитное воздействие, радиационное и тепловое загрязнение;
- непосредственные воздействия, связанные с привнесением или изъятием из природной среды отдельных компонентов (химическое загрязнение, выбросы вредных веществ);
- косвенные воздействия, включающие в себя: гравитационное осаждение твердых частиц и аэрозолей, химические реакции вредных веществ, выброшенных в атмосферу и гидросферу.

Как видно, существует большое количество воздействующих факторов на окружающую среду. В данной работе предлагается рассмотреть вариант использования нечётких обобщённых критериев для определения качества окружающей среды на примере функционирования ТЭС.

© В. Н. Радионенко, 2022



Для характеристики качества окружающей природной среды необходимо учитывать множество критериев  $K_i$  (разного рода воздействия: физические, непосредственные, косвенные), которые имеют различные размерности, физический смысл и диапазон изменения. Простое усреднение таких показателей не имеет смысла и необходимо использовать методы многокритериального анализа для построения обобщенных критериев.

Наиболее общепринятое понимание неопределенности как случайного события привело к появлению подходов, использующих теории вероятностей и случайных процессов. Однако, применение вероятностных методов сопровождается серьезными трудностями при их практической реализации. Существуют и другие модели неопределенности, которые не связаны с концепцией случайности, а отражают неполноту наших знаний об изучаемом объекте и его взаимодействии с окружающей средой. К основным моделям неопределенности такого типа относятся следующие:

- антиоптимизация или модель неопределенности, возникающая из *неспецифичности* равновероятных альтернатив, как продолжение интервального анализа;
- теоретико-игровая модель неопределенности, источником которой служит *конфликт* между различными целями;
- вербальная модель неопределенности, возникновение которой следует из *нечеткости (расплывчатости)*, т. е. неясно или неточно выраженных лингвистических терминов при описании количественных или качественных целей системы. Теория нечетких множеств (fuzzy set) возникла как новая система понятий, в которой лингвистическая неопределенность может быть отображена в математических терминах.

Здесь рассматривается гибкая модель поиска обобщенного критерия качества окружающей природной среды, базирующаяся на многокритериальной природе процесса принятия решения и уменьшении неопределенности, возникающей при наличии конфликта и нечеткости целей при наличии многих локальных критериев.

Проблема поиска обобщенного критерия качества окружающей среды рассмотрена как проблема нечеткого нелинейного программирования с  $n$  несовместимыми критериями,  $m$  – переменными управления и  $k$  нелинейными ограничениями: найти

$$\text{Optimize } K [K_{th}(X), K_{ec}(X)] \quad (1)$$

при условии

$$C_i \equiv G_{Li} \leq G_i(X) \leq G_{Ui}, i = 1, 2, \dots, k. \quad (2)$$

$$x_{Li} \leq x_i \leq x_{Ui}, i = 1, 2, \dots, m, \quad (3)$$

где  $K_{th}(X)$ ,  $K_{ec}(X)$  представляют нечеткие локальные критерии качества окружающей природной среды;

$X(x_1, x_2, \dots, x_m)$  – вектор искомых переменных управления;

$GL_i$ ,  $GU_i$  – нижний и верхний пределы ограничений  $G_i(X)$ , соответственно, и  $x_{Li} \leq x_i \leq x_{Ui}$  – нижняя и верхняя границы для искомых переменных управления.

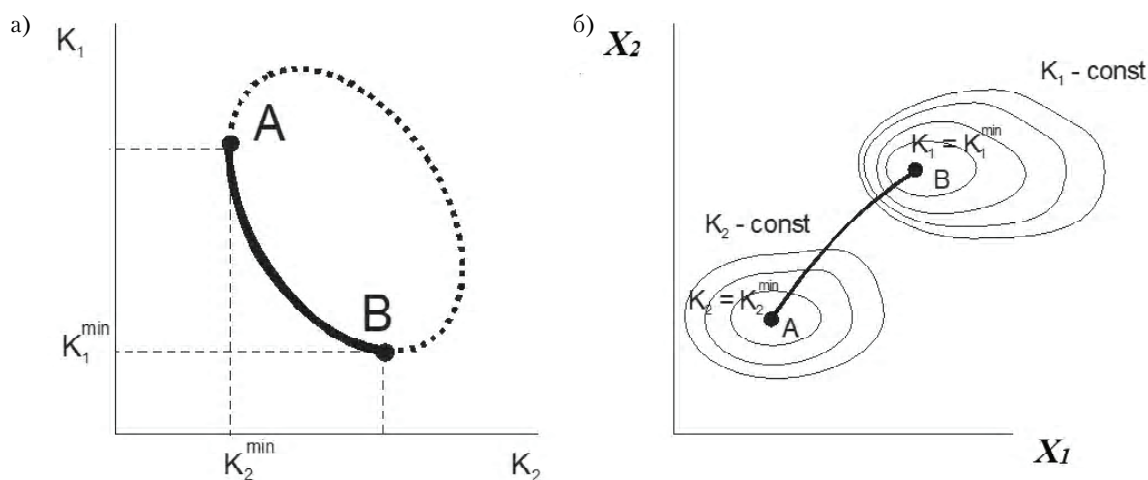
Полагается, что  $K_j(X) = \|P_j, M_j(X)\|$  – «расстояние» между желаемой (идеальной) эффективностью системы  $P_j$  и ее реальной моделью  $M_j$ . Для критерия  $K_{th}$  значение  $P_j$  соответствует теоретическому максимуму эффективности целевой функции. Решение многокритериальной проблемы заключается в нахождении компромисса среди всех критериев и ограничений и может быть сформулировано следующим образом: построить функцию

$$K = K_1 \cap K_2 \cap \dots \cap K_n. \quad (4)$$

Параметры модели  $X_{opt}$  отождествляют компромиссное решение для выбранных критериев эффективности. Многокритериальный подход базируется на комбинации формальной и неформальной процедур принятия решения для нахождения альтернативного решения проблемы. Формальные математические средства для разрешения многокритериальной проблемы отсутствуют и необходима дополнительная информация.

В пределах проблемы многокритериального нелинейного программирования может быть определен только диапазон искомых переменных, где значение одного из локальных критериев не может быть улучшено без ухудшения значений остальных критериев. Это множество значений параметров называется множеством Парето. Концепция оптимальности по Парето – это формальное решение

многокритериальной задачи. Геометрическая интерпретация множества Парето (линия **AB**) для случая двух критериев  $K_{th} = K_1$ ,  $K_{ec} = K_2$  и двух переменных управления дана на рисунке.



**Рисунок** – 2D-множество Парето: а) пространство критериев; б) пространство переменных управления.

Здесь  $K_1^{\min}$  интерпретируется как минимальное отклонение модели эффективности от идеального решения. В настоящее время не существует общепринятого метода определения множества Парето, который произвел бы подходящее множество решений для всех проблем. Это мотивирует дальнейшее развитие надежных подходов к решению многокритериальных проблем.

В области Парето не существует единственного оптимального решения, а скорее набор альтернативных решений. Эти решения оптимальны в более широком смысле, т. к. никакие другие решения не являются согласованными для множества критериев. Оптимальность по Парето можно рассматривать как средство генерирования альтернатив, из которых принимающий решения может выбрать окончательное решение.

Следующий шаг состоит в определении некоего набора параметров из множества Парето с помощью дополнительной внешней информации и обращения вектора критерия в скалярный. Этот шаг фактически является проблемой принятия решения и не может быть формализован. Существует много способов преобразования векторного критерия критерий вектор в скалярный.

Основная концепция при выборе окончательного решения, которое удовлетворяет множеству Парето, базируется на минимизации неопределенности. Обычно рассматриваются две основные тенденции (изоляционистская и кооперативная) для объединения вектора локальных критериев в глобальный (или обобщенный). Изоляционистская схема свертки может быть аддитивной (глобальный критерий представлен как взвешенная сумма локальных критериев) и энтропийной (глобальный критерий представлен как сумма логарифмов локальных критериев).

Если поведение каждого критерия согласуется с общей целью – минимизировать общий (кооперативный) критерий, то схему свертки можно представить в виде

$$K_C(X) = \min [w_i (K_i(X) - K_i^0)] \quad 1 \leq i \leq n, \quad X \in X_P, \quad (5)$$

где  $w_i$  – весовые коэффициенты,

$K_i^0$  – нижняя грань желаемого результата (идеальная точка), которая приемлема в коалиции,

$K_C$  – глобальный критерий. Если возможно придти к соглашению о предпочтениях (весах) для каждого критерия, тогда окончательное решение может быть найдено как решение проблемы скалярного нелинейного программирования:

$$K_C(X) = \min \sum_{i=1}^n [w_i (K_i(X) - K_i^0)] \quad X \in X_P. \quad (6)$$

Если же у принимающих решение нет согласия относительно выбора веса, тогда становится предпочтительней арбитражная схема. Классическая арбитражная схема была получена строго математически Нэшем, но очень часто критиковалась из общих соображений:

$$K_C(X) = \min \prod_{i=1}^n |K_i(X) - K_i^0|, \quad X \in X_P. \quad (7)$$

Все обсужденные схемы свертки пытаются уменьшить неопределенность, возникающую из конфликта между различными критериями в области Парето.

Здесь допускается, что локальные критерии, а также различные ограничения в плохо структурированной ситуации могут быть представлены нечеткими множествами.

Окончательное решение определяется моделью как результат пересечения всех нечетких критериев и ограничений, отображенных их функциями принадлежности  $\mu(X)$ :

$$\mu_K(X) = \mu_{K_{in}}(X) \cap \mu_{K_{ec}}(X) \cap \mu_{G_i}(X), \quad i = 1, 2, \dots, k; \quad X \in X_P. \quad (8)$$

Функция принадлежности целей и ограничений может быть выбрана линейной или нелинейной в зависимости от контекста проблемы. Одна из возможных нечетких схем свертки представлена ниже:

- В качестве начального приближения выбирают вектор  $X$ . Максимальные (минимальные) значения для каждого критерия  $K_j$  устанавливаются как результат решения скалярной задачи максимизации (минимизации) для каждого из критериев. Результаты обозначены как «идеальные» точки  $\{X_j^0, j = 1 \dots m\}$ .
- Матрица  $[T]$ , где элементы диагонали – «идеальные» точки, определена следующим образом:

$$[T] = \begin{bmatrix} K_1(X_1^0) & K_2(X_1^0) \dots & K_n(X_1^0) \\ K_1(X_2^0) & K_2(X_2^0) \dots & K_n(X_2^0) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ K_1(X_m^0) & K_2(X_m^0) \dots & K_n(X_m^0) \end{bmatrix}. \quad (9)$$

- Максимальная и минимальная границы критериев определяются:

$$\begin{aligned} K_i^{\min} &= \min_j K_j(X_j^0) = K_i(X_i^0), \quad i = 1 \dots n; \\ K_i^{\max} &= \max_j K_j(X_j^0), \quad i = 1 \dots n. \end{aligned} \quad (10)$$

- Функция принадлежности для всех нечетких целей представлена в виде:

$$\mu_{K_i}(X) = \begin{cases} 0, & \text{if } K_i(X) > K_i^{\max} \\ \frac{K_i^{\max} - K_i}{K_i^{\max} - K_i^{\min}} & \text{if } K_i^{\min} < K_i \leq K_i^{\max}, \\ 1, & \text{if } K_i(X) \leq K_i^{\min} \end{cases} \quad (11)$$

- Формулируются нечеткие ограничения:

$$C_j(X) \leq C_j^{\max} + d_j, \quad j = 1, 2, \dots, q, \quad (12)$$

где  $d_j$  – реальный параметр, который обозначает расстояние от допустимого смещения для границы  $C_j^{\max}$   $j$ -го ограничения. Соответствующая функция принадлежности определена следующим образом:

$$\mu_{K_i}(X) = \begin{cases} 0, & \text{if } K_i(X) > K_i^{\max} \\ \frac{K_i^{\max} - K_i}{K_i^{\max} - K_i^{\min}} & \text{if } K_i^{\min} < K_i \leq K_i^{\max}, \\ 1, & \text{if } K_i(X) \leq K_i^{\min} \end{cases} \quad (13)$$

- Окончательное решение определено как пересечение всех нечетких критериев и ограничений, представленных их функциями принадлежности. Эта проблема сводится к стандартной проблеме нелинейного программирования: найти такие значения  $X$  и  $\lambda$ , что, максимизируя  $\lambda$ , выполняются условия:

$$\begin{aligned}\lambda &\leq \mu_{K_i}(X), \quad i = 1, 2, \dots, n; \\ \lambda &\leq \mu_{C_j}(X), \quad j = 1, 2, \dots, q.\end{aligned}\tag{14}$$

Решение многокритериальной проблемы раскрывает значение оператора оптимальности и зависит от опыта принимающего решения и его понимания проблемы.

## ВЫВОДЫ

Решение проблем негативного воздействия ТЭС на окружающую природную среду требует комплексного подхода с применением различных подходов, в том числе, не исключен вариант использования нечётких обобщённых критериев.

Таким образом, предложенный нечеткий обобщенный критерий определения качества окружающей природной среды способен агрегировать множество показателей различной природы воздействия и служит определённой мерой анализа функционирования ТЭС.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bache, K. UCI Machine Learning Repository / K. Bache, M. Lichman. – Irvine, CA : University of California, School of Information and Computer Science. – 2013. – 187 p. – Текст : непосредственный.
2. Носков, А. С. Воздействие ТЭС на окружающую среду и способы снижения наносимого ущерба / А. С. Носков, М. А. Савинкина, Л. Я. Анищенко. – Текст : непосредственный // Научно-практический журнал «Труды ГПНТБ СО РАН». – Новосибирск : ГПНТБ, 2005. – С. 8–12.
3. Штовба, С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С. Д. Штовба. – Текст : непосредственный // Инженерно-технический журнал. – 2007. – № 8. – С. 24–33.
4. Rotshtein, A. Identification of a nonlinear dependence by a fuzzy knowledgebase in the case of a fuzzy training set / A. Rotshtein, S. Shtovba. – Текст : непосредственный // Cybernetics and Systems Analysis. – 2006. – Volume 42, № 2. – P. 176–182.
5. Ishibuchi, H. Classification and modeling with linguistic information granules: advanced approaches advanced approaches to linguistic data mining / H. Ishibuchi, T. Nakashima, M. Nii. – Berlin – Heidelberg : Springer-Verlag, 2005. – 135 p. – Текст : непосредственный.

Получена 08.10.2022

Принята 28.10.2022

### В. М. РАДІОНЕНКО ПРО ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ НЕЧІТКИХ УЗАГАЛЬНЕНИХ КРИТЕРІЇВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА НА ПРИКЛАДІ ТЕПЛОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

**Анотація.** У статті розглянуто питання про можливе використання моделей невизначеності для визначення якості навколишнього природного середовища. Проаналізовано практичні моделі невизначеності, які не пов'язані з концепцією випадковості, а відображають неповноту наших знань про досліджуваний об'єкт і його взаємодію з навколишнім середовищем. На підставі проведеного аналізу запропоновано розглянути гнучку модель пошуку узагальненого критерію якості навколишнього природного середовища, яка базується на багатокритеріальній природі процесу прийняття рішення та зменшенні невизначеності, що виникає у випадку конфлікту та нечіткості цілей за наявності багатьох локальних критеріїв. Для більш чіткого і зваженого вирішення поставленого завдання обґрунтовано застосування концепції оптимальності по Парето. В результаті, запропонований нечіткий узагальнений критерій визначення якості навколишнього природного середовища здатний агрегувати безліч показників різної природи впливу і служить певною мірою для аналізу функціонування теплоелектростанцій.

**Ключові слова:** теплоелектростанція, якість середовища, критерій якості, модель невизначеності, вектор, параметри, функція приналежності.

VITALY RADIONENKO  
ON THE PROSPECTS FOR THE USE OF FUZZY GENERALIZED CRITERIA  
FOR DETERMINING THE QUALITY OF THE ENVIRONMENT ON THE  
EXAMPLE OF THERMAL POWER PLANTS  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** The article discusses the possible use of uncertainty models to determine the quality of the environment. Practical models of uncertainty are analyzed, which are not related to the concept of randomness, but reflect the incompleteness of our knowledge about the object under study and its interaction with the environment. Based on the analysis, it is proposed to consider a flexible model for searching for a generalized criterion of environmental quality, which is based on the multi-criteria nature of the decision-making process and reducing the uncertainty that arises in the presence of conflict and the vagueness of goals in the presence of many local criteria. To solve the problem of finding a generalized criterion for environmental quality, it is proposed to consider it as a problem of fuzzy nonlinear programming with incompatible criteria, control variables and nonlinear constraints. For a clearer and more balanced solution of the task, the application of the Pareto optimality concept is justified. As a result, the proposed fuzzy generalized criterion for determining the quality of the natural environment is able to aggregate many indicators of different nature of the impact and serves as a certain measure of the analysis of the functioning of thermal power plants.

**Key words:** thermal power plant, environmental quality, quality criterion, uncertainty model, vector, parameters, membership function.

**Радионенко Виталий Николаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: переработка и повторное использование промышленных отходов.

**Радіоненко Віталій Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри техносферної безпеки ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: переробка і повторне використання промислових відходів

**Radionenko Vitaly** – Ph. D. (Eng), Associate Professor, Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: recycling and reuse of industrial waste.