

УДК 004.94

В. Х. Кириллов, д-р техн. наук,
Д. А. Бодарев

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В МОДЕЛЯХ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЛОКАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ

***Аннотация.** На основе концепции устойчивого развития сформулированы требования к выбору локальных систем преобразования энергии как результату компромисса между множеством требований – максимума энергетической эффективности, минимума экономических затрат с учетом экологических ограничений в условиях неопределенности. Разработаны алгоритмы свертки противоречивых критериев.*

***Ключевые слова:** модели устойчивого развития, преобразование энергии, принятие решений.*

V. H. Kirillov, ScD,
D. A. Bodarev

INFORMATION TECHNOLOGIES OF DECISION-MAKING IN LOCAL MODELS OF ENERGY CONVERSION SUSTAINABLE DEVELOPMENT

***Abstract.** Based on the concept of sustainable development the requirements to the choice of local energy conversion systems as a result of a compromise between a set of requirements - maximum energy efficiency, low economic cost, taking into account environmental constraints under uncertainty. The algorithms of convolution of conflicting criteria.*

***Keywords:** models of sustainable development, energy conversion, decision-making.*

В. Х. Кириллов, д-р техн. наук,
Д. О. Бодарев

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В МОДЕЛЯХ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ЛОКАЛЬНИХ СИСТЕМ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ

***Анотація** На основі концепції сталого розвитку сформульовано вимоги до вибору локальних систем перетворення енергії як результату компромісу між безліччю вимог - максимуму енергетичної ефективності, мінімуму економічних витрат з урахуванням екологічних обмежень в умовах невизначеності. Розроблено алгоритми згортки суперечливих критеріїв.*

***Ключові слова:** моделі сталого розвитку, перетворення енергії, прийняття рішень.*

В настоящее время концепция устойчивого развития (sustainable development) является наиболее приемлемой формой глобальной оценки эффективности энергопреобразующих систем. Наиболее устоявшееся официальное определение рассматривает понятие устойчивого развития как «модель поступательного развития общества, при которой достигается удовлетворение жизненных потребностей нынешнего поколения без лишения такой возможности будущих поколений людей». Именно такой перевод из доклада [1] является официальным и наиболее общепризнанным определением, как устойчивого развития, так и его концепции..

Попытки оценить эффективность энергопреобразующих систем были начаты с термодинамического анализа и развивались как реакция на вызовы со стороны вначале экономических, а затем и экологических требований и ограничений [2].

© Бодарев Д.А., Кириллов В.Х., 2012

Важный шаг был сделан, когда пришло осознание того факта, что предельная термодинамическая эффективность обычно принципиально недостижима по экономическим соображениям. Попытки найти компромисс между термодинамическими и экономическими показателями привели к созданию термoeкономических методов оценки эффективности преобразования энергии. В этом подходе эффективность системы оценивается на основе эксергетического анализа и «неэнергетических» показателей (капитальных затрат, страхования, инвестиций, трудозатрат и т.д.), которые эмпирически связаны переменными управления для рассматриваемых процессов. Множители преобразования - эксергетические цены сводят двухкритериальную задачу к однокритериальной, где за оценку эффективности системы принимается экономический критерий.

В 70-е годы прошлого столетия, когда приоритеты были отданы экологическим критериям, развитие получили методы ана-

лиза жизненного цикла систем (Life Cycle Analysis – LCA), которые учитывали воздействие данного процесса или технологии на окружающую среду. Методы LCA расширяют традиционный системный подход к анализу процессов переноса, выходя за рамки уравнений баланса массы и энергии. Методология оценки жизненного цикла систем находится еще в стадии развития, хотя уже существуют стандарты, которые применяются в экологическом менеджменте [3].

Обычно рассматривают четыре основных стадии анализа [4]:

1. Формулирование цели и назначения системы, включающее описание границ системы и выбор основных подсистем;

2. Балансовый анализ: оценка потоков энергии и массы, которые поступают в систему, а также оценка эмиссии парниковых газов и отходов различной природы на выходе из системы, т.е. «экологические накладные расходы»;

3. Оценка воздействия на окружающую среду: отображение «экологических накладных расходов» различной природы на ограниченное число общепринятых экологических показателей (потенциал глобального потепления – GWP, потенциал разрушения озонового слоя – ODP, кислотность, потенциал фотохимического смога и др.)

4. Интерпретация: разработка мер по минимизации вредных экологических воздействий, которые возникают в результате работы рассматриваемой системы.

Развитие методологии LCA привело к попытке расширить концепцию термоэкономического анализа за счет введения эксерго-экологических цен. Однако в большинстве случаев цели, которых стремится достичь каждый из локальных критериев, противоречат одно другому. Этот факт не учитывается в традиционных методах термоэкономической или термо-экологоэкономической оптимизации, где введение монетарных показателей предполагает совпадение интересов.

В данной работе рассматривается более общий и свободный от перечисленных ограничений многокритериальный подход, учитывающий неопределенность целей как следствие неполноты наших знаний о реакции окружающей среды на функционирова-

ние энергопреобразующих систем. Предполагается, что целевые функции – эксергетический КПД и чистая прибыль наряду с экологическими ограничениями в условиях неопределенности различной природы могут быть представлены нечеткими множествами. Глобальный критерий сбалансированности K – это векторный критерий, компонентами которого наряду с энергетическими, экономическими и экологическими критериями, являются и социально-политические факторы.

В качестве экологических критериев рассматриваются такие показатели, как степень разрушения озонового слоя, эмиссия тяжелых металлов и парниковых газов, эутрофикация, образование смога, канцерогенез и др. Наиболее полно систему экологических критериев характеризуют экоиндикаторы, которые широко применяются при анализе проблем защиты окружающей среды.

Рассмотрение социальных, экономических и экологических факторов в едином комплексе является общепризнанным. Естественно, что критерии или индикаторы должны отражать эти три важнейшие составляющие.

1. Социальные индикаторы: повышение материального благосостояния; улучшение образования, осведомленности и воспитания общества; защита и улучшение здоровья людей; улучшение качества среды обитания.

2. Экономические индикаторы: международная кооперация для ускорения устойчивого развития; изменение характеристик потребления; финансовые ресурсы и механизмы; передача и/или использование экологически безопасных технологий.

3. Экологические индикаторы: сохранение качества воздушной среды и водных ресурсов; комплексный подход к планированию и рациональному использованию земельных ресурсов; снижение антропогенного воздействия на экологически уязвимых элементах производственных процессов.

Основной критерий в определенной степени взаимосвязанный со всеми качественными индикаторами устойчивого развития, – это энергетический. В свою очередь энергетический критерий зависит от множества не-

определенных факторов, которые не могут быть оценены однозначно, а их подробная экспериментальная проверка существенно ухудшает экономические показатели.

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. Сравнение теорий неопределенности [5] приведено в таблице 1.

В данной работе используется вербальная модель неопределенности, возникновение которой следует из нечеткости (расплывчатости), т.е. неясно или неточно выраженных лингвистических терминов при опи-

сании количественных или качественных целей системы. Теория нечетких множеств (fuzzy set), впервые выдвинутая Zadeh, возникла как новая система понятий, в которой лингвистическая неопределенность может быть отображена в математических терминах.

В работах [6,7] разрабатывается многокритериальный подход, учитывающий неопределенность целей как следствие неполноты наших знаний о реакции окружающей среды на функционирование энергопреобразующих систем. Предполагается, что целевые функции – эксергетический КПД и чистая прибыль наряду с экологическими ограничениями в условиях неопределенности различной природы могут быть представлены нечеткими множествами. Глобальный критерий сбалансированности K – это векторный критерий, компонентами которого наряду с энергетическими, экономическими и экологическими критериями, являются и социально-политические факторы.

1. Критерий теорий неопределенности

Критерий	Особенности теории		
	вероятностей	нечетких множеств	грубых множеств
Понятийная основа	Неопределенность в наступлении недетерминированных событий	Неопределенность в качественных характеристиках объектов	Неопределенность в классификации объектов
Способ описания исходных данных	В виде закона распределения случайной величины	В виде функции принадлежности	В виде пары множеств (нижняя и верхняя аппроксимации)
Количество объектов	Большое количество однородных объектов (или данных наблюдения за одним объектом)	Любое число	Любое число, но применяется для больших объемов данных
Человеческий фактор	Разногласия в трактовке результатов полученных распределений	Функция принадлежности может быть задана субъективно	Субъективное разделение на два множества
Способ формирования операций	Операции определены для вероятностей	Операции определены над функциями принадлежности	Операции выполняются над множествами
Круг задач	Задачи, связанные со статистическими данными	Задачи, связанные с качественными оценками	Задачи поиска, классификации и анализа знаний

Проблема термoeкономической оптимизации рассмотрена как проблема нечеткого нелинейного программирования с n несовместимыми критериями (например, экономическим и термодинамическим), m – переменными управления и k нелинейными ограничениями:

найти

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

при условии

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

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

где $K_{th}(X)$, $K_{ec}(X)$ представляют нечеткие локальные критерии термодинамической и экономической эффективности; $X(x_1, x_2, \dots, x_m)$ – вектор искоемых переменных управления; G_{Li} , G_{Ui} – нижний и верхний пределы ограничений $G_i(X)$ соответственно: $x_{Li} \leq x_i \leq x_{Ui}$ – нижняя и верхняя границы для искоемых переменных управления.

В данной работе предлагается следующая последовательность шагов принятия решения в нечетком термoeкономическом анализе энергопреобразующих систем.

1. Определение области оптимальности по Парето (или области компромисса) – X_P , в которой достигается согласованное решение конфликта между критериями с противоположными интересами.

2. Представление критериев и ограничений в форме нечетких множеств для отображения неструктурированных ситуаций (т.н. процедура «размывания» критериев);

3. Неформальный выбор схемы свертки для перехода от векторного критерия $K[K_{th}(X), K_{ec}(X)]$ к скалярной комбинации $K_{th}(X)$ и $K_{ec}(X)$;

4. Оценка окончательного вектора $X_{opt} \in X_P$, минимизирующего нечеткие источники неопределенности.

В области Парето не существует единственного оптимального решения, а скорее набор альтернативных решений. Эти решения оптимальны в более широком смысле, так как никакие другие решения не явля-

ются согласованными для множества критериев. Оптимальность по Парето можно рассматривать как средство генерирования альтернатив, из которых принимающий решения может сделать окончательный выбор.

Окончательное решение определяли на основе модели Bellman – Zadeh [6] как результат пересечения всех нечетких критериев и ограничений, отображенных их функциями принадлежности $\mu(X)$:

$$\mu_K(X) = \mu_{K_{th}}(X) \cap \mu_{K_{ec}}(X) \cap \mu_{G_i}(X), \quad (4)$$

$$i = 1, 2, \dots, k; \quad X \in X_P,$$

где функция принадлежности целей и ограничений выбирается линейной или нелинейной, в зависимости от контекста проблемы.

Одна из возможных нечетких схем свертки представлена ниже.

1. В качестве начального приближения выбирают вектор X . Максимальные (минимальные) значения для каждого критерия K_i устанавливаются как результат решения скалярной задачи максимизации (минимизации) для каждого из критериев. Результаты обозначены как “идеальные” точки

$$\{ X_j^0, j = 1 \dots m \}.$$

2. Матрица $[T]$, где элементы диагонали – “идеальные” точки, определена следующим образом:

$$[T] = \begin{bmatrix} K_1(X_1^0) & K_2(X_1^0) \dots & K_n(X_1^0) \\ K_1(X_2^0) & K_2(X_2^0) \dots & K_n(X_2^0) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ K_1(X_m^0) & K_2(X_m^0) \dots & K_n(X_m^0) \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Максимальная и минимальная границы критериев определяются так:

$$K_i^{\min} = \min_j K_j(X_j^0) = K_i(X_i^0), \quad i = 1 \dots n;$$

$$K_i^{\max} = \max_j K_j(X_j^0), \quad i = 1 \dots n. \quad (6)$$

Функция принадлежности для всех нечетких целей представлена в виде

$$\mu_{K_i}(X) = \begin{cases} 0, & \text{if } K_i(\tilde{O}) > K_i^{\max} \\ \frac{K_i^{\max} - K_i}{K_i^{\max} - K_i^{\min}} & \text{if } K_i^{\min} < K_i \leq K_i^{\max}, \\ 1, & \text{if } K_i(\tilde{O}) \leq K_i^{\min} \end{cases}, \quad (7)$$

Формулируются нечеткие ограничения:

$$C_j(X) \leq C_j^{\max} + d_j, \quad j = 1, 2, \dots, q, \quad (8)$$

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:

$$\mu_{C_j}(X) = \begin{cases} 0, & \text{if } C_j(\tilde{O}) > C_j^{\max} \\ 1 - \frac{C_j(X) - C_j^{\max}}{d_j} & \text{if } C_j^{\max} < C_j(X) \leq C_j^{\max} + d_j, \\ 1, & \text{if } C_j(\tilde{O}) \leq C_j^{\max} \end{cases} \quad (9)$$

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 λ , что максимизируя λ выполняются условия

$$\begin{aligned} \lambda &\leq \mu_{K_i}(X), \quad i = 1, 2, \dots, n; \\ \lambda &\leq \mu_{C_j}(X), \quad j = 1, 2, \dots, q \end{aligned} \quad (10)$$

Решение многокритериальной проблемы раскрывает значение оператора оптимальности (1) и зависит от опыта принимающего решения и его понимания проблемы.

Выводы

На основе концепции устойчивого развития сформулированы требования к выбору локальных систем преобразования энергии как результату компромисса между множеством требований – максимума энергетической эффективности, минимума экономических затрат с учетом экологических ограничений в условиях неопределенности.

Проанализированы формализованные нестатистические модели неопределенности необходимые для выбора схем компромисса.

Метод нечеткого нелинейного математического программирования, который пытается минимизировать все виды неопределенностей, – это гибкая система экономической и термодинамической оптимизации тепловых и холодильных систем. В этом исследовании сделана одна из первых попыток

применения методологии многокритериального принятия решений для выбора компромисса между термодинамическими и экономическими показателями применительно к локальным системам преобразования энергии.

Список использованной литературы

1. Report of the United Nations conference on environment and development (Rio de Janeiro, 3-14 June 1992). <http://www.un.org/documents/ga/conf151/aconf15126-1annex1.htm>.
2. Valero, A. Thermoeconomics: The meeting point of thermodynamics, economics and ecology. In: proc. Second Law Analysis of Energy Systems: Towards the 21-st century, CIR-CUS-Roma. – 1995. – P. 179–188.
3. ISO 14040 Environmental Management – Life Cycle assessment. – 1997. – Part I. – Principles Framework.
4. "Defining Life Cycle Assessment (LCA)." US Environmental Protection Agency. – 17 October 2010. Web.
5. Ярушкина, Н. Г. Основы теории нечетких и гибридных систем /Н. Г. Ярушкина. – М. : Финансы и статистика, 2008.
6. Артеменко, С. Многокритериальный анализ устойчивого развития энергопреобразующих систем / С. Артеменко, Д Бодарев., В. Мазур // Моделирование и информатизация социально-экономического развития Украины. – 2006. – №7. – С.144–156.
7. Artemenko S IIR/IF Conference Compressors / S. Artemenko, D. Bodarev, M Khmnel'njuk . //Fuzzy thermoeconomic analysis in refrigerant selection. – Papiernicka: Slovakia, 2006.
8. Беллман Р. Вопросы анализа и принятия решений. Сборник переводов / Р. Беллман, Л. Заде // Принятие решений в расплывчатых условиях – М. : Мир. – 1976. – С. 172–215.

Получено 2.10.2012

References

1. Report of the United Nations conference on environment and development (Rio de Janeiro, 3-14 June 1992) <http://www.un.org/documents/ga/conf151/aconf15126-1annex1.htm> [in English].

2. Valero, A. Thermoeconomics: The meeting point of thermodynamics, economics and ecology. In: proc. Second Law Analysis of Energy Systems: Towards the 21-st Century, CIRCUS-Roma. – 1995. – P.179–188 [in English].

3. ISO 14040 Environmental Management – Life Cycle assessment – Part I: Principles Framework, 1997 [in English].

4. "Defining Life Cycle Assessment (LCA)." US Environmental Protection Agency. 17 October 2010. Web. [in English]

5. Yarushkina N. Basic theory of fuzzy and hybrid systems / N. Yarushkina. – Moscow : Finances and Statistics, 2008 [in English].

6. Artemenko, S. The multi-criteria analysis of sustainable development of energy-converting systems / S. Artemenko, D. Bodarev, In. Mazur // Modeling and information technologies in socio-economic development of Ukraine. – 2006. – №7. – P. 144–156 [in Russian].

7. Artemenko S. IIR/IIF Conference Compressors / S. Artemenko, D. Bodarev, M.

Khmel'njuk // Fuzzy thermoeconomic analysis in refrigerant selection. – Papiernicka, Slovakia: 2006 [in English].

8. Bellman R. Decision-making in a fuzzy environment / R. Bellman, L. Zadeh // Management Science. – Moscow : – 1976. – P. 172–215[in Russian].



Бодарев Дмитрий Александрович,
ассистент Одесского нац. морского ун-та
E-mail:
abodarev@ukr.net



Кириллов Владимир Харитонович,
д.т.н., проф. каф. Высшая математика Одесской нац. академии пищевых технологий.
E-mail:
vladkir@renome-i.net