

УДК 504.06

DOI: 10.18413/2409-1634-2016-2-2-58-63

Птускин А.С.
Левнер Е.В.

**ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЫБОРА
НАИЛУЧШИХ ДОСТУПНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

- 1) профессор, д.э.н. Калужский филиал Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана. ул. Баженова, д. 2, г. Калуга, 248000, Россия. *aptuskin@mail.ru*
2) профессор, доктор. Ашкелонский Академический Колледж
ул. Бен-Цви, д. 12, Ашкелон, 78211, Израиль. *eli_levner@bezeqint.net*

Аннотация

Одним из ключевых элементов в решении природоохранных задач является внедрение *принципов наилучших доступных технологий*, на основании которых производится нормирование негативного воздействия на окружающую среду и регулирование деятельности промышленных предприятий, оказывающих значительное загрязнение окружающей среды. Проблема состоит в определении того, какая из альтернативных технологий является практически и экономически наиболее выгодной в случаях, когда отсутствуют явные предпочтения в отношении какой-либо конкретной технологии.

Применение традиционных оптимизационных эколого-экономических и экономико-математических моделей для выбора наилучших технологий практически не находит достаточного отражения в современных исследованиях. Поэтому разработка нового инструментария, позволяющего успешно решать реальные слабоструктурированные задачи выбора наилучших технологий и адекватно учитывать неопределенность, является актуальной проблемой. Предлагается инструментальный и функциональный набор модельных конструкций для решения задач определения наилучшей доступной технологии.

Ключевые слова: экология; наилучшие доступные технологии; эколого-экономические модели и методы

Alexander S. Ptuskin
Evgeny V. Levner.

**INSTRUMENTAL TOOLS FOR MODELING THE PROBLEM
OF SELECTING THE BEST AVAILABLE TECHNOLOGIES**

- 1) Doctor of Economics, Professor, Bauman Moscow State Technical University (Kaluga Branch)
2 Bazhenova St., Kaluga, 248000, Russian Federation. *aptuskin@mail.ru*
2) PhD, Professor, Ashkelon Academic College
12 Yitshak Ben Zvi St., Ashkelon, 78211, Israel. *eli_levner@bezeqint.net*

Abstract

A key element in solving the environmental and resource-saving problems is the introduction of principles of the best available technologies, which provide the restriction of the negative impact on the environment and the regulation of the activity of industrial enterprises bringing considerable environmental pollution. The problem is to determine which of alternative technologies is the most practical and economically advantageous in the case when there is no evident preference for a particular technology.

The application of traditional ecological-economic and economic-mathematical optimization models for a scientifically-motivated choice of the best technologies is very rare in modern researches. Therefore, it is a crucial problem to develop new tools allowing to successfully solve real-life weakly-structured problems of the best technologies choice with the data uncertainty being taken into account. We suggest a new instrumental set of tools for modeling and solving the problem of determining the best available technology.

Keywords: ecology; best available technologies; environmental and economic models and methods

Введение. Исследования эколого-направленным наукам. Их решение основано на экономических проблем научно-технического реализации концепции устойчивого развития, то развития относятся к приоритетным есть длительного непрерывного развития

общества, обеспечивающего потребности живущих сегодня людей без ущерба для удовлетворения потребностей будущих поколений. Одним из ключевых элементов в решении эколого-экономических задач является внедрение *принципов наилучших доступных технологий*, на основании которых производится нормирование негативного воздействия на окружающую среду и регулирование деятельности промышленных предприятий, оказывающих значительное загрязнение окружающей среды. *Наилучшая доступная технология* (НДТ) определяется в [1] следующим образом: «Технологический процесс, технический метод, основанный на современных достижениях науки и техники, направленный на снижение негативного воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду и имеющий установленный срок практического применения с учетом экономических, технических, экологических и социальных факторов». Концепция НДТ направлена на обеспечение комплексной защиты окружающей среды с тем, чтобы в ходе решения одной экологической проблемы не допустить создания более серьезной другой проблемы, и учитывает возможные затраты и выгоды, получаемые в результате реализации мер по сокращению загрязнения.

Принципы и положения системы экологического нормирования на основе НДТ зафиксированы в Директиве «О комплексном предупреждении и контроле загрязнений» [2]. Внедрение принципа НДТ позволяет значительно улучшить экологическую ситуацию, обновить основные фонды, создать энергоэффективные и ресурсосберегающие производственные мощности, повысить конкурентоспособность промышленности.

Открытым остается вопрос о признании одной из конкурирующих технологий наилучшей [3].

Краткий обзор литературы. Общая методология решения поставленной задачи описана в справочном документе «Экономические аспекты и вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды» [4]. Документ разработан в целях формирования научно-методической базы и устанавливает общий порядок решения задачи, но носит рамочный характер.

Сложная и многоаспектная проблема выбора НДТ может быть существенно облегчена использованием научно обоснованных математических и инструментальных методов, однако задача их разработки рассматривается лишь в немногочисленных исследованиях. Так, в работе [5] на основе системного подхода и с

использованием математического аппарата теории множеств предложена системная модель НДТ для производства различных химических продуктов. В работе [6] представлена характеристика экспертной системы оценки эколого-экономической эффективности НДТ и измерения стоимости интеллектуального труда как основного фактора этой эффективности. В статье [7] авторы рассматривают совокупность принципиально доступных технологий и процесс их развития как сложную систему, для которой применимы методы векторного анализа систем: методы, основанные на введении результирующего показателя качества; методы, основанные на введении результирующего показателя доступной технологии - минимаксные методы; методы, основанные на введении показателя эффективности; метод, основанный на переводе всех показателей доступных технологий, кроме одного, в ряд ограничений; метод последовательных уступок.

Имеется значительное число зарубежных публикаций, посвященных использованию математических методов при определении НДТ. В работе [8] подчеркивается, что правильной и эффективной оценки альтернатив, лица, принимающие решения, должны проанализировать большое количество данных и рассмотреть различные количественные и качественные критерии [9]. В статье отмечается, что трудно найти точные данные о характеристиках и потенциальных воздействиях техники, и это еще один важный подводный камень, препятствующий правильной реализации концепции НДТ. В работе [10] анализ многокритериального принятия решений для оценки НДТ определяется как термин, который включает в себя набор концепций, методов и приемов, направленных на помощь отдельным лицам или группам для принятия решений, которые включают несколько конфликтующих точек зрения и многочисленные заинтересованные стороны. Методы анализа многокритериального принятия решений были использованы для отдельных аспектов оценки технологий в работах [11-17].

Недостаточный уровень имеющихся сегодня методов принятия решений существенно затрудняет процесс выбора, в течение которого возникают сложные, слабоструктурированные, задачи, не имеющие точного решения, описываемые качественными, неоднозначными характеристиками. Поэтому разработка нового инструментария является весьма актуальной проблемой.

Системная идентификация моделей задачи выбора НДТ. Модели выбора наилучших доступных технологий относятся к классу моделей

экономического объекта [18]. Объектом моделирования являются технологии производства продукции, выполнения работ, оказания услуг, определяемые на основе современных достижений науки и техники и наилучшего сочетания критериев достижения целей охраны окружающей среды при условии наличия технической возможности их применения. Цель построения моделей состоит в выявлении и установлении в результате сравнения характеристик различных технологий, экономического предпочтения и доступности конкретной технологии на фоне других, существующих в конкретной области деятельности. Системное описание объекта моделирования может быть представлено как совокупность его характеристик, которые должны учитывать экологический, экономический и социальный аспекты, промышленную применимость технологии, наличие технологии на рынке. Используемый математический аппарат – количественные методы исследования операций. Интерпретация модели – упорядочение имеющихся альтернатив или выбор наилучшей альтернативы в соответствии с целевой идентификацией.

Из анализа процесса определения НДТ следует, что инструментальная идентификация моделей для задач выбора может быть представлена следующим набором процедур.

Прежде всего, для выбора НДТ необходима информация о выходных и входных потоках по каждой из рассматриваемых технологий. Источниками информации, как указано в [4], могут быть: данные мониторинга; отчетные материалы; данные об экспериментальных исследованиях; расчетные данные; данные, получаемые в процессе информационного обмена; информация от поставщиков или изготовителей оборудования. Для оценки неопределенности данных целесообразно использование информационно-энтропийного подхода. Он представляет количественный метод оценки, анализа и обработки информации, основанный на измерении информационной энтропии. Энтропия для оценки уровня сложности производственных систем и измерения степени неполноты знаний об их состоянии исследуется во многих работах, и ее приложения весьма разнообразны [19, 20].

Общий порядок выбора НДТ предполагает анализ и обобщение данных для каждой технологии по выбросам и сбросам вредных веществ, отходам, используемым сырью и материалам, потребляемой энергии. Если после этого невозможно сделать выбор в пользу какой-

либо технологии, по каждой из них производится анализ воздействия каждого из загрязняющих веществ на окружающую среду с учетом семи приоритетных экологических проблем: токсичность для человека, глобальное потепление, токсичность для водных объектов, закисление, эвтрофикация, истощение озонового слоя, потенциал образования тропосферного озона. На этих этапах выбора для каждой альтернативной технологии задано множество аспектов сравнения, причем каждый аспект имеет свой вес в комплексной оценке. Здесь наиболее адекватным инструментом являются процедуры многоатрибутного принятия решений, а способом решения – метод TOPSIS [21].

Выбор НДТ осуществляется из дискретного множества доступных альтернатив. Эта задача может быть сведена к задаче математического программирования рюкзачного типа. Различные вычислительные методы ее решения представлены, например, в работе [22].

Практически во всех случаях для подготовки заключения необходимо прибегать к экспертной оценке. Это предопределяет для построения модели выбора НДТ использование аппарата теории нечетких множеств. Методология моделирования средствами этой теории представлена, например, в работах [23, 24]. Нечеткая логика оперирует с уровнями допустимости решения, что позволяет рассматривать несколько альтернативных решений многокритериальных проблем и, в случае, если конфликт целей не четко определен, а является мягким, размытым, позволяет находить компромиссы и предоставляет лицу, принимающему решение, большую степень свободы.

В терминах нечетких множеств релевантно строить модели и методы и для задач многоатрибутного принятия решения [25], и для задач математического программирования [26].

Выбор НДТ должен учитывать и экономические характеристики. Для оценки и сравнения инвестиционных затрат на альтернативные технологии, используется метод чистой дисконтированной стоимости, который представляет собой стоимость инвестиций, рассчитанных как сумма дисконтированных притоков будущих периодов минус текущая стоимость инвестиций [4]. Аппарат теории нечетких множеств целесообразно использовать и в этом случае. Проблема состоит в определении величин денежных потоков. Для учета неполноты и неточности этих параметров могут быть использованы результаты работы [27].

Упрощенная схема выбора НДТ и соответствующие инструментальные средства моделирования представлены на рис. 1.



Рис. 1. Основные этапы выбора НДТ и инструментальные средства моделирования

Fig. 1. The main stages of the choice of BAT and modeling tools

Заключение. Ввиду сложности и многоаспектности проблемы разработка научно обоснованных эколого-экономико-математических моделей и методов оценки альтернативных вариантов и идентификации именно той технологии, которая является наилучшей, является важным направлением в данной предметной области. Необходимы расширение арсенала инструментально-математических средств моделирования задачи определения НДТ; создание для субъекта моделирования возможности использования в моделях разнообразной информации об объекте; разработка новых эколого-экономико-математических моделей на базе качественных измерений наряду с традиционным количественным математическим анализом.

Научно обоснованные модели и методы позволят в конфликтных ситуациях при определении наилучшей доступной технологии обеспечить объективное принятие решений техническим рабочим группам, а также разработчикам разрешительной документации и предприятиям.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского гуманитарного научного

фонда и Правительства Калужской области (проект № 16-12-40002a(p)).

Список литературы

- ГОСТ Р 54097-2010 «Ресурсосбережение. Наилучшие доступные технологии. Методология идентификации».
- Directive 2008/1/EC of the European Parliament and of the Council of 15 January 2008 concerning integrated pollution prevention and control.
- Белозерский, А. Ю. Адаптация справочных документов по наилучшим доступным технологиям к условиям высокого риска // Успехи в химии и химической технологии. 2011. Т. 25. № 13 (129). С. 57-62.
- BREF Economics and Cross-media Effects [Electronic resource]: URL: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/ecm.html>, 2006 (date of access: 30/03/2016).
- Панова, С. А., Тишаева, И. Р. Системная модель наилучшей доступной технологии // Вестник МИТХТ. 2014. Т. 9. № 5. С. 83-85.
- Журавель, Н. М. Экспертная система оценки эколого-экономической эффективности наилучших доступных технологий при совершенствовании природопользования Сибири // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2014. Т. 3. № 1. С. 95-99.
- Иванушкин, С. В., Чечеватова О.Ю. Методический подход к определению отечественных

наилучших доступных технологий // Известия Института инженерной физики. 2015. Т. 2. № 36. С. 77-79.

8. Samarakoon S.M.S.M.K., Gudmestad O.T. The IPPC Directive and technique qualification at offshore oil and gas installations // Journal of Cleaner Production. 2011. 19. Pp. 13-20.

9. Ayag, Z., Ozdemir, R.G. A fuzzy AHP approach to evaluating machine tool alternatives // Journal of Intelligent Manufacturing. 2006. 17. Pp. 179-190.

10. Belton, V., Stewart, T. Multiple criteria decision analysis. An integrated approach (second ed.). Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2002.

11. Giner-Santonja, G., Aragonés-Beltrán, P., Nicolás-Ferragut, J. The application of the analytic network process to the assessment of best available techniques // Journal of Cleaner Production. Vol. 25. April 2012. Pp. 86–95.

12. Doukas, H., Patlitzianas, K.D., Psarras, J. Supporting sustainable electricity technologies in Greece using MCDM // Resources Policy. 2006. 31. Pp. 129-136.

13. Bollinger, D., Pictet, J. Multiple criteria decision analysis of treatment and land-filling technologies for waste incineration residues // OMEGA The International Journal of Management Science. 2008. 36. Pp. 418-428.

14. Gómez-López, M. D., Bayo, J., García-Cascales, M. S., Angosto, J. M. Decision support in disinfection technologies for treated wastewater reuse // Journal of Cleaner Production. 2009. 17. Pp. 1504-1511.

15. Dijkmans, R. Methodology for selection of best available techniques (BAT) at the sector level // Journal of Cleaner Production. 2000. 8. Pp. 11-21.

16. Schultmann, F., Jochum, R., Rentz, O. A methodological approach for the economic assessment of best available techniques // LCA Methodology. 2001. 6(1). Pp. 19-27.

17. Geldermann, J., Rentz, O. Integrated technique assessment with imprecise information as a support for the determination of best available techniques (BAT) // OR Spektrum. 2001. 23. Pp. 137-157.

18. Клейнер, Г. Б. Экономико-математическое моделирование и экономическая теория // Экономика и математические методы. 2001. Т. 37. № 3. С. 111-126.

19. Прангишвили, И. В. Энтропийные и другие системные закономерности: Вопросы управления сложными системами. М.: Наука, 2003.

20. Levner, E., Ptuskin, A. An Entropy-Based Approach to Identifying Vulnerable Components in a Supply Chain // International Journal of Production Research. 2014. DOI: 10.1080/00207543.2014.934400.

21. Hwang, C. L., Yoon K. Multiple attributes decision making methods and applications. Heidelberg, Berlin: Springer, 1981.

22. Kellerer, H., Pferschy, U., Pisinger, D. Knapsack Problems. Berlin: Springer Verlag, 2003.

23. Левнер, Е. В., Птускин, А. С., Фридман, А. А. Размытые множества и их применение. М.: ЦЭМИ РАН, 1998.

24. Птускин, А.С. Решение стратегических задач в условиях размытой информации. М.: Дашков и К, 2003.

25. Chen, C. T., Lin, C. T., Huang S.F. A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply

chain management // International Journal of Production Economics. 2006. 102. Pp. 289-301.

26. Sakawa, M., Kato, K., Sunada, H., Shibano, T. Fuzzy programming for multiobjective 0-1 programming problems through revised genetic algorithms // European Journal of Operational Research. 1997. 97(1-4). Pp. 149-158.

27. Птускин, А. С. Задача бюджетирования капитала с размытыми параметрами // Экономика и математические методы. 2005. Т. 41. № 2. С. 95-101.

References

1. National Standard of the Russian Federation P 54097-2010 «Resources saving. Best available techniques. Identification methodology».

2. Directive 2008/1/EC of the European Parliament and of the Council of 15 January 2008 concerning integrated pollution prevention and control.

3. Belozersky, A. Y. Adaptation of Reference Documents on Best Available Techniques in Terms of High-risk // Advances in Chemistry and Chemical Technology. 2011. Vol. 25. № 13 (129). Pp. 57-62.

4. BREF Economics and Cross-media Effects [Electronic resource]: URL: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/ecm.html>, 2006 (date of access: March 30, 2016).

5. Panova, S. A., Tishaeva, I. R. System Model for Identification of Best Available Technology (BAT) // Vestnik MITHT. 2014. Vol. 9. № 5. Pp. 83-85.

6. Zhuravel, N. M. Expert System for the Environmental and Economic Efficiency of Best Available Technologies in Improving the Exploitation of Natural Resources in Siberia // Interekspo Geo-Sibir. 2014. Vol. 3. № 1. Pp. 95-99.

7. Ivanushkin, S. V., Chechevatov, O. J. Methodical Approach to the Definition of Domestic Best Available Technologies // Proceedings of the Institute of Engineering Physics. 2015. Vol. 2. № 36. Pp. 77-79.

8. Samarakoon, S. M. S. M. K., Gudmestad, O. T. The IPPC Directive and Technique Qualification at Offshore Oil and Gas Installations // Journal of Cleaner Production. 2011. 19. Pp. 13-20.

9. Ayag, Z., Ozdemir, R. G. A fuzzy AHP approach to evaluating machine tool alternatives // Journal of Intelligent Manufacturing. 2006. 17. Pp. 179-190.

10. Belton, V., Stewart, T. Multiple criteria decision analysis. An integrated approach (second ed.). Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2002.

11. Giner-Santonja, G., Aragonés-Beltrán, P., Nicolás-Ferragut, J. The application of the analytic network process to the assessment of best available techniques // Journal of Cleaner Production. Vol. 25. April 2012. Pp. 86–95.

12. Doukas, H., Patlitzianas, K. D., Psarras, J. Supporting sustainable electricity technologies in Greece using MCDM // Resources Policy. 2006. 31. Pp. 129-136.

13. Bollinger, D., Pictet, J. Multiple criteria decision analysis of treatment and land-filling technologies for waste incineration residues // OMEGA The International Journal of Management Science. 2008. 36. Pp. 418-428.

14. Gómez-López, M. D., Bayo, J., García-Cascales, M. S., Angosto, J. M. Decision support in disinfection technologies for treated wastewater reuse // *Journal of Cleaner Production*. 2009. 17. Pp. 1504-1511.
15. Dijkmans, R. Methodology for selection of best available techniques (BAT) at the sector level // *Journal of Cleaner Production*. 2000. 8. Pp. 11-21.
16. Schultmann, F., Jochum, R., Rentz, O. A methodological approach for the economic assessment of best available techniques // *LCA Methodology*. 2001. 6(1). Pp. 19-27.
17. Geldermann, J., Rentz, O. Integrated technique assessment with imprecise information as a support for the determination of best available techniques (BAT) // *OR Spektrum*. 2001. 23. Pp. 137-157.
18. Kleiner, G. B. Economic and Mathematical Methods and Economic Theory // *Economics and the Mathematical Methods*. 2001. Vol. 37. № 3. Pp. 111-126.
19. Prangishvili, I. V. Entropy and other Systemic Laws: Issues of Management of Complex Systems. Moscow: Nauka, 2003.
20. Levner, E., Ptuskin, A. An Entropy-Based Approach to Identifying Vulnerable Components in a Supply Chain // *International Journal of Production Research*. 2014. DOI: 10.1080/00207543.2014.934400.
21. Hwang, C. L., Yoon, K. Multiple attributes decision making methods and applications. Heidelberg, Berlin: Springer, 1981.
22. Kellerer, H., Pferschy, U., Pisinger, D. Knapsack Problems. Berlin: Springer Verlag, 2003.
23. Levner, E. V., Ptuskin, A. S., Friedman A.A. Fuzzy Sets and their Applications. Moscow: CEMI Russian Academy of Sciences. 1998.
24. Ptuskin, A. S. The Solution of Strategic Problems in the Conditions of Fuzzy Information. Moscow: Dashkov & K, 2003.
25. Chen, C. T., Lin, C. T., Huang, S. F. A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management // *International Journal of Production Economics*. 2006. 102. Pp. 289-301.
26. Sakawa, M., Kato, K., Sunada, H., Shibano, T. Fuzzy programming for multiobjective 0-1 programming problems through revised genetic algorithms // *European Journal of Operational Research*. 1997. 97(1-4). Pp. 149-158.
27. Ptuskin, A. S. A The Problem of Capital Budgeting with Fuzzy Sets // *Economics and Mathematical Methods*. 2005. Vol. 41. № 2. Pp. 95-101.