

УДК 504.05:004.02

И.С. СКАРГА-БАНДУРОВА, канд. техн. наук, доц.,
Технологический институт Восточно-украинского Национального
Университета им. Владимира Даля, Северодонецк

МОДЕЛИ РЕАЛИЗАЦИИ КОМПЛЕКСНОЙ СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ ОТХОДАМИ

Предложена новая модель для автоматизации решения задач управления потоком отходов, основанная на методах интервально-параметрического линейного программирования (ИЛП), которая учитывает основные операции обращения с отходами. Общий подход может быть применен к широкому спектру природоохранных задач. Ил.: 1. Библиогр.: 18 назв.

Ключевые слова: модель, автоматизация, управление потоком отходов, метод, интервально-параметрическое линейное программирование, природоохранная задача.

Постановка проблемы. Отходы являются одной из ключевых экологических проблем современности. Проблема обращения с отходами в нашей стране до сих пор целиком не охвачена ни методологическими, ни программными средствами. Очевидно, что ее решение невозможно без использования информационных технологий и математического моделирования, которые позволяют осуществить научно-обоснованный анализ, выявлять скрытые закономерности и использовать результаты для принятия эффективных решений.

Анализ литературы. Проблемам создания математических моделей для реализации оптимальных стратегий обращения с отходами уделено большое внимание [1 – 12], предложены модели оптимизации системы управления отходами [1], модели планирования объемов и загрузки контейнеров [2, 3], оптимизация маршрутов и расписаний [4, 5]. Задачам реализации стратегий управления отходами посвящены работы [10 – 17], в частности, в [10 – 13] предложены модели, основанные на теории нечетких множеств, работы [14 – 15] посвящены исследованию проблем создания моделей для управления отходами в рамках многокритериального целочисленного программирования, [16, 17] – интервального программирования. Большое разнообразие работ в этом направлении обусловлено целым рядом причин, среди которых как необходимость решения комплексных задач управления, так и учет региональных особенностей.

Цель статьи – разработка новой модели реализации комплексной

стратегии управления отходами, учитывающей схему основных потоков, а также нормативно-технические и методические требования по обращению с отходами.

Модель разработана для интеграции следующих вариантов обращения с отходами: обработка отходов с использованием высоких температур, переработка и захоронение. На рис. представлена схема основных потоков движения твердых бытовых отходов (ТБО).

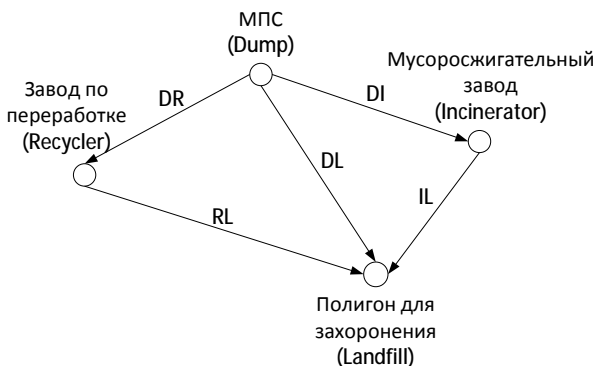


Рис. Схема основных потоков движения твердых бытовых отходов

В простейшем случае комплекс управления ТБО состоит из следующих объектов: узлов распределения отходов – D ; заводов по переработке ТБО – R ; заводов по сжиганию – I ; полигонов для захоронения – L . Целью комплексного управления отходами является минимизация стоимости основных операций:

$$\text{Min} (CT - PT), \tag{1}$$

где: CT – затраты на комплексное управление ТБО за расчётный период; PT – общая выгода, связанная с потоком ТБО за расчётный период.

Условия и ограничения:

1. ТБО, сгенерированные в узле распределения D , должны свободно распределяться по потокам и не превышать ёмкости узла:

$$\sum_i xDI_{di}^{\pm} + \sum_r xDR_{dr}^{\pm} + \sum_l xDL_{dl}^{\pm} \geq G_d^{\pm};$$

$$G_d^{\pm} \leq \text{Cap}D_d^{\pm},$$

где: xDI_{di}^{\pm} – поток ТБО от узла d к i -му заводу по сжиганию ТБО, за расчётный период; xDR_{dr}^{\pm} – поток ТБО от узла d к r -му заводу по переработке ТБО, за расчётный период; xDL_{dl}^{\pm} – поток ТБО от узла d к l -му полигону для захоронения ТБО, за расчётный период; G_d^{\pm} – количество ТБО, образующиеся при генерации d -го узла распределения; $CapD_d^{\pm}$ – ёмкость d -го узла распределения ТБО.

2. Планируемая мощность каждого потока не должна превышать допустимую мощность объекта, к которому направлен поток:

$$\begin{aligned} \sum_d xDI_{di}^{\pm} &\leq CapI_i^{\pm}; \\ \sum_d xDR_{dr}^{\pm} &\leq CapR_r^{\pm}; \\ \sum_d xDL_{dl}^{\pm} + \sum_i xIL_{il}^{\pm} + \sum_r xRL_{rl}^{\pm} &\leq CapL_l^{\pm} + \Delta TC_l^{\pm} \cdot y_l^{\pm}, \end{aligned}$$

где: $CapI_i^{\pm}$ – допустимая мощность i -го завода по сжиганию; $CapR_r^{\pm}$ – допустимая мощность r -го завода по переработке; xIL_{il}^{\pm} – поток ТБО от i -го мусоросжигательного завода к l -му полигону по захоронению; xRL_{rl}^{\pm} – поток ТБО от r -го завода по переработке к l -му полигону по захоронению; $CapL_l^{\pm}$ – допустимая мощность l -го полигона для захоронения; ΔTC_l^{\pm} – общее количество расширения вместимости l -го полигона для захоронения.

3. Вместимость всех полигонов по захоронению не должна превышать горизонт планирования:

$$\sum_l y_l^{\pm} \leq y_{hor}^{\pm},$$

где: y_{hor}^{\pm} – горизонт планирования полигонов по захоронению ТБО.

4. Потоки отходов могут быть только положительными:

$$xDI_{di} \geq 0; xDR_{dr} \geq 0; xDL_{dl} \geq 0; xIL_{il} \geq 0; xRL_{rl} \geq 0.$$

Особенностью данной задачи является использование подходов интервального анализа, поскольку такое представление неопределённости является наименее ограничительным и отвечает

широкому классу прикладных задач, в которых часто нет оснований или недостаточно информации для того, чтобы рассматривать эту неопределённость как случайную [18].

С учетом приведенных выше допущений, целевая функция принимает вид:

$$\begin{aligned} \text{Min } f^{\pm} = & \left(\sum_d \sum_i \sum_l \left((t^{\pm} \cdot Dis_{di}^{\pm} + OCI_i^{\pm} + EnvCI_i^{\pm}) \cdot xDI_{di}^{\pm} + \right. \right. \\ & \left. \left. + (t^{\pm} \cdot Dis_{il}^{\pm} + OCL_l^{\pm} + FCL_l^{\pm} \cdot y_l^{\pm} + EnvCL_l^{\pm}) \cdot xDI_{di}^{\pm} \cdot k_I^{\pm} \right) \right) + \\ & + \left(\sum_d \sum_r \sum_l \left((t^{\pm} \cdot Dis_{dr}^{\pm} + OCR_r^{\pm} + EnvCR_r^{\pm}) \cdot xDR_{dr}^{\pm} + \right. \right. \\ & \left. \left. + (t^{\pm} \cdot Dis_{il}^{\pm} + OCL_l^{\pm} + FCL_l^{\pm} \cdot y_l^{\pm} + EnvCL_l^{\pm}) \cdot xDR_{dr}^{\pm} \cdot k_R^{\pm} \right) \right) + \\ & + \left(\sum_d \sum_l \left((t^{\pm} \cdot Dis_{dl}^{\pm} + OCL_l^{\pm} + FCL_l^{\pm} \cdot y_l^{\pm} + EnvCL_l^{\pm}) \cdot xDL_{dl}^{\pm} \right) \right) - \\ & - \left(\sum_d \sum_i (PI_i^{\pm} \cdot xDI_{di}^{\pm}) \right) - \left(\sum_d \sum_r (PR_r^{\pm} \cdot xDR_{dr}^{\pm}) \right) - \left(\sum_d \sum_l (PL_l^{\pm} \cdot xDL_{dl}^{\pm}) \right) \end{aligned}$$

где: t^{\pm} – транспортные расходы на единицу ТБО за 1 км; Dis_{di}^{\pm} – расстояние от узла d до i -го завода по сжиганию, км; OCI_i^{\pm} – эксплуатационные расходы i -го объекта на сжигание единицы ТБО; $EnvCI_i^{\pm}$ – расходы, направленные на снижение вредного воздействия на окружающую среду при сжигании единицы ТБО; xDI_{di}^{\pm} – поток ТБО от узла d к i -му заводу по сжиганию ТБО; Dis_{il}^{\pm} – расстояние от i -го завода по сжиганию до l -го полигона для захоронения, км; OCL_l^{\pm} – эксплуатационные расходы l -го объекта на утилизацию единицы ТБО; FCL_l^{\pm} – стоимость увеличения мощности l -го полигона для захоронения ТБО; y_l^{\pm} – целочисленная переменная для расширения полигона l для захоронения ТБО; $y_l^{\pm} \geq 0$; $EnvCL_l^{\pm}$ – расходы, направленные на снижение вредного воздействия на окружающую среду при утилизации единицы ТБО; k_I^{\pm} – доля инертных материалов в единице ТБО, отправленной на сжигание, $0 < k_I^{\pm} < 1$; Dis_{dr}^{\pm} – расстояние от узла d до r -го завода по переработке, км; OCR_r^{\pm} – эксплуатационные расходы r -го объекта на переработку единицы ТБО; $EnvCR_r^{\pm}$ – расходы, направленные

на снижение вредного воздействия на окружающую среду при переработке единицы ТБО; xDR_{dr}^{\pm} – поток ТБО от узла d к r -му заводу по переработке ТБО; Dis_{rl}^{\pm} – расстояние от r -го завода по переработке ТБО до l -го полигона для захоронения, км; k_R^{\pm} – доля инертных материалов в единице ТБО, отправленной на переработку, $0 < k_R^{\pm} < 1$; Dis_{dl}^{\pm} – расстояние от узла d до l -го полигона по захоронению ТБО, км; xDL_{dl}^{\pm} – поток ТБО от узла d к l -му полигону для захоронения ТБО; PI_i^{\pm} – доход от единицы ТБО, сжигаемой в расчётный период на i -м заводе; PR_r^{\pm} – стоимость сырья, полученного при переработке единицы ТБО в расчётный период на r -м заводе; PL_l^{\pm} – дотации на утилизацию единицы ТБО на l -м полигоне; d – индекс узла распределения ТБО, $d = 1, 2, \dots, n$; i – индекс завода по сжиганию ТБО, $i = 0, 1, \dots, m$; r – индекс завода по переработке ТБО, $r = 0, 1, \dots, p$; l – индекс полигона для захоронения ТБО, $l = 1, 2, \dots, q$.

При условиях:

$$\begin{aligned} \sum_d \sum_i xDI_{di}^{\pm} + \sum_d \sum_r xDR_{dr}^{\pm} + \sum_d \sum_l xDL_{dl}^{\pm} &\geq \sum_d G_d^{\pm}; \\ \sum_i \sum_d xDI_{di}^{\pm} &\leq \sum_i CapI_i^{\pm}; \\ \sum_r \sum_d xDR_{dr}^{\pm} &\leq \sum_r CapR_r^{\pm}; \\ \sum_i \sum_d (xDI_{di}^{\pm} \cdot k_l^{\pm}) + \sum_r \sum_d (xDR_{dr}^{\pm} \cdot k_R^{\pm}) + \\ + \sum_l \sum_d xDL_{dl}^{\pm} &\leq \sum_l CapL_l^{\pm} + \sum_l (\Delta TC_l^{\pm} \cdot y_l^{\pm}); \\ xDI_{di}^{\pm}, xDR_{dr}^{\pm}, xDL_{dl}^{\pm} &\geq 0. \end{aligned}$$

Выводы. Результаты моделирования помогают сгенерировать достаточное количество альтернативных решений при различных стратегиях управления отходами, обеспечивая анализ компромиссов между оптимальностью системы и её надёжностью. Данный подход применим к решению различных экологических проблем, где существует неопределенность для ввода параметров.

Список литературы 1. Anderson L.E. A mathematical model for the optimization of a waste management system / L.E. Anderson // SERL Report No. 68-1, University of California, Berkeley,

California, USA: Sanitary Engineering Research Laboratory. – 1968. – P. 13-25. **2. Baetz B.W.** Capacity planning for waste management systems / *B.W. Baetz* // *Civil Engineering Systems*. – 1990. – 7. – P. 229-235. **3. Beukering P.V.** Waste recovery in Bombay: A socio-economic and environmental assessment of different waste management options / *P.V. Beukering* // *Third World Planning Review*. – 1997. – 19 (2). – P. 163-187. **4. Hugo M.P.** Optimization of municipal solid waste collection routes based on the containers' fill status data: Master in Informatics and Comp. Eng. / *M.P. Hugo*. – Universidade do Porto. – Spain, 2010. – 104 p. **5. Johansson O.M.** Model Predictive Control for Scheduling and Routing in a Solid Waste Management System / *O.M. Johansson, R. Johansson* // *Proceedings of the 17th World Congress The International Federation of Automatic Control Seoul, Korea*. – 2008. – P. 4481-4486. **6. Powell J.C.** The evaluation of waste management options / *J.C. Powell* // *Waste Management and Research*. – 2001. – P. 515-526. **7. Salhofer S.** Strategic environmental assessment as an approach to assess waste management systems. Experiences from an Austrian case study / *S. Salhofer, G. Wassermann, E. Binner* // *Environmental Modelling & Software*. – 2007. – Vol. 22. – P. 610-618. **8. Shamshiry E.** Optimization of municipal solid waste management / *E. Shamshiry, B. Nadi, A.R. Mahmud* // 2010 International Conference on Biology, Environment and Chemistry IPCBEE – 2011. – Vol. 1. – P. 119-121. **9. Shmelev S.E.** Ecological-economic modelling for strategic regional waste management systems / *S.E. Shmelev, J.R. Powell* // *Ecological economics*. – 2006. – Vol. 59. – P. 115-130. **10. Ailenei D.** A regional approach for optimization of the municipal waste management system using fuzzy sets / *D. Ailenei, V.E. Tartiu* // *Romanian journal of regional science*. – 2008. – Vol. 2. – №. 2. – P. 134-145. **11. Chang N.-B.** A fuzzy goal programming approach for the optimal planning of metropolitan solid waste management systems / *N.-B. Chang, S.F. Wang* // *Journal of Operation Research*. – 1997. – P. 303-321. **12. Chang N.-B.** Solid waste management system analysis by multi-objective mixed integer programming model / *N.-B. Chang, S.F. Wang* // *Journal of Environmental Management*. – 1995. – 48. – P. 17-43. **13. Maimone M.** An application of multi-criteria evaluation in assessing MSW treatment and disposal systems / *M. Maimone* // *Waste Management and Research*. – 1995. – P. 217-231. **14. Hsieh H.N.** Optimization of solid waste disposal system by linear programming technique / *H.N. Hsieh, K.H. Ho* // *Journal of Resource Management and Technology*. – 1993. – P. 194-201. **15. Sarika R.** Optimization model for integrated municipal solid waste management in Mumbai, India / *R. Sarika* // *Environment and Development Economics*. – 2007. – P. 105-121. **16. Huang G.H.** An interval linear programming approach for municipal solid waste management planning under uncertainty / *G.H. Huang, B.W. Baetz, G.G. Patry* // *Civil Engineering Systems*. – 1992. – P. 319-335. **17. Huang Y.F.** Violation analysis for solid waste management / *Y.F. Huang, B.W. Baetz, G.H. Huang, L. Liu* // *Journal of environmental management*. – 2002. – P. 1-16. **18. Шарый С.П.** Конечномерный анализ [Электронный ресурс] / *С.П. Шарый*. – М.: Из-во XYZ, 2012 – Режим доступа [www. URL: http://www.nsc.ru/interval/](http://www.nsc.ru/interval/) - 12.05.2013 г.

Поступила в редакцию 22.06.2013

Статью представил д-р техн. наук, проф. ТИ ВНУ Рязанцев А.И.

УДК 504.05: 004.02

Моделі реалізації комплексної стратегії управління відходами / Скарга-Бандурова І.С. // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2013. – № 19 (992). – С. 146 – 152.

Запропоновано нову модель для автоматизації вирішення завдань управління потоком відходів, яка заснована на методах інтервально-параметричного лінійного програмування і враховує основні вимоги поводження з відходами в Україні. Загальний підхід може бути застосований до широкого спектру природоохоронних заходів. Лл.: 1. Бібліогр.: 18 назв.

Ключові слова: модель, автоматизація, управління, потік відходів, метод, інтервально-параметричне лінійне програмування, природоохоронні заходи.

UDC 504.05: 004.02

A model for implementation of integrated solid waste management strategy / Skarga-Bandurova I.S. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – № 19 (992). – P. 146 – 152.

The model for automation of the waste flow control was proposed. It grounded on the methods of interval-parameter linear programming and was developed according to the requirements of the legislation of Ukraine. The general approach is applicable to a wide range of environmental problems. Figs.: 1. Refs.: 18 titles.

Keywords: model, automation, flow control of waste, the method of interval-parametric linear programming, environmental problems.