

*Олениченко Ю.А., ад'юнкт, НУГЗУ,
Соболь А.Н., д-р техн. наук, нач. каф., НУГЗУ,
Собина В.А., преп., НУГЗУ,
Болотских М.В., канд. истор. наук, председатель, ГСЧСУ*

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА СРЕДСТВ МОНИТОРИНГА ТЕПЛОВЫХ ПОЛЕЙ ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

В работе предложена математическая модель определения оптимального количества и мест размещения средств мониторинга тепловых полей полигонов твердых бытовых отходов. Рассмотрены особенности данной модели и сделаны выводы о необходимости разработки нового метода решения данной задачи.

Ключевые слова: математическая модель, мониторинг, полигон твердых бытовых отходов

Постановка проблемы. Проблема накопления твердых бытовых отходов (ТБО) становится все более актуальной для современного общества и заставляет искать пути безопасной их утилизации. От успешного решения этой проблемы во многом зависит оздоровление природной среды урбанизированных территорий. Существует около ста разновидностей технологий обезвреживания ТБО, при этом самым простым и относительно дешевым методом является складирование на санитарных полигонах. Данный метод является наиболее распространенным, особенно в странах с развивающейся экономикой. В Украине технология захоронения твердых бытовых отходов на полигонах остается наиболее применяемой. Вместе с тем, биохимические процессы, протекающие на территории данных объектов, приводят к повышению их пожарной и техногенной опасности. Таким образом, одной из задач, направленной на предотвращение реализации указанных опасностей, является мониторинг тепловых полей полигонов твердых бытовых отходов.

Анализ последних исследований и публикаций. Существующие подходы к процессу мониторинга полигонов ТБО приведены в работах [1-6]. Следует отметить, что данные работы, в основном, посвящены экологическому мониторингу данных объек-

тов. Более того, в ДБН В.2.4-2-2005 «Полигоны твердых бытовых отходов. Основные положения проектирования» [7] указано, что в составе проекта полигона ТБО разрабатывается специальный раздел по системе мониторинга, включающий: контроль состояния подземных и поверхностных водных объектов, атмосферного воздуха, почвы и растений, шумовой нагрузки в зоне возможного отрицательного влияния полигона ТБО; систему управления технологическими процессами на полигоне ТБО, обеспечивающую предотвращение загрязнения подземных и поверхностных водных объектов, атмосферного воздуха, почвы и растений, шумовой нагрузки свыше допустимых пределов. Вместе с тем, требования и подходы к мониторингу тепловых полей полигонов ТБО на сегодняшний день не рассматриваются, хотя пожары на данных объектах приводят к серьезным последствиям, в том числе и для здоровья населения. В связи с этим, актуальной научно-прикладной задачей является разработка методов мониторинга тепловых полей на полигонах ТБО с целью своевременного выявления опасных тепловых процессов.

Постановка задачи и ее решение. Целью данной работы является разработка математической модели размещения средств мониторинга тепловых полей полигонов ТБО.

Прежде всего, рассмотрим технические средства, которые представляют собой аналоги термоподвесок [8] и могут быть использованы для проведения вышеуказанного мониторинга. Следует отметить, что данные средства предназначены для непрерывного циклического многозонного измерения температуры в составе систем автоматизированного управления и, при этом, имеют пылевлагонепроницаемое исполнение. Рабочая длина L чувствительного элемента варьируется в пределах от 1 до 30 м. Чувствительный элемент представляет собой гибкую пластиковую оболочку, армированную двумя стальными тросами [8]. Внутри оболочки располагается измерительный шлейф с датчиками температуры, которые устанавливаются с интервалом 1 м. Датчики температуры осуществляют измерения температуры контролируемой среды в пределах отдельных зон (задаются радиусом R). При размещении технических средств мониторинга указываются допустимые расстояния между ними $[R_{\min}; R_{\max}]$, а также до границы полигона ТБО R_0 .

Таким образом, возникает следующая задача: необходимо покрыть цилиндрами S_i радиуса $R_i = R$ и длиной L_i (область,

контролируемая средством мониторинга) заданную область S_0 (полигон ТБО), которая, в общем виде, представляет собой многогранник, так, чтобы обеспечить полное (максимальное) перекрытие S_0 минимальным количеством S_i с учетом заданной системы ограничений.

Прежде всего, представим область S_0 и объекты S_i при помощи следующей информации

$$g_0 = (\{x_{0,1}; y_{0,1}; z_{0,1}; \dots; x_{0,n}; y_{0,n}; z_{0,n}; V\}, \{x_0; y_0; z_0\}); \quad (1)$$

$$g_i = (\{R_i; L_i\}, \{x_i; y_i; z_i\}); \quad i = 1, \dots, N. \quad (2)$$

Здесь $\{x_{0,k}; y_{0,k}; z_{0,k}\}$, $k = 1, \dots, n$, - вершины многогранника S_0 , количество которых равно n (заданы в локальной системе координат); $\{x_0; y_0; z_0\}$ - положение начала локальной системы координат S_0 в глобальной системе координат; V - матрица, количество строк которой равно количеству граней S_0 , причем в каждой строке указываются номера вершин, принадлежащих соответствующей грани; $\{x_i; y_i; z_i\}$ - положение начал локальных систем координат объектов S_i в глобальной системе координат; N - количество объектов покрытия S_i .

Математическую модель оптимального покрытия S_0 объектами S_i запишем следующим образом

$$u^* = \arg \min_{u \in W} N(u); \quad u = \{x_i; y_i; z_i\}; \quad i = 1, \dots, N; \quad (3)$$

где W

$$\omega \left(p_{\bigcup_{i=1}^N S_i}, \{x_{0,1}; y_{0,1}; z_{0,1}; \dots; x_{0,n}; y_{0,n}; z_{0,n}; V\}, \{0; 0; 0\}, \{x_0; y_0; z_0\} \right) \rightarrow \max; \quad (4)$$

$$\omega(\{R_i; L_i\}, \{R_j; L_j\}, \{x_i; y_i; z_i\}, \{x_j; y_j; z_j\}) \rightarrow \min; \quad (5)$$

$$i = 1, \dots, N; \quad j = i + 1, \dots, N;$$

$$\omega\left(\{R_i; L_i\}, p_{S_{v_t}}, \{x_i; y_i; z_i\}, \{x_{v_t}; y_{v_t}; z_{v_t}\}\right) \rightarrow \min; \quad (6)$$

$$i = 1, \dots, N; t = 1, 2, \dots, q;$$

$$\rho\left(\{x_i; y_i; z_i\}, \{x_j; y_j; z_j\}\right) \in [R_{\min}; R_{\max}]; \quad (7)$$

$$\rho\left(\{x_i; y_i; z_i\}; frS_0\right) \geq R_0. \quad (8)$$

В модели (3)÷(8) выражение (3) представляет собой функцию цели задачи; (4) – условие максимального покрытия области S_0 , в котором p - форма и размеры объекта $\bigcup_{i=1}^N S_i$, причем данный объект рассматривается в глобальной системе координат; выражение (5) представляет собой условие минимизации области пересечения объектов покрытия S_i и S_j ; (6) – условие минимизации области пересечения объектов покрытия S_i и областей запрета S_{v_t} , $t = 1, 2, \dots, q$ (область запрета может представлять собой, например, систему отбора биогаза); выражение (7) представляет собой ограничение на допустимые расстояния между техническими средствами мониторинга; (8) – ограничение на расстояние от средства мониторинга до границы области S_0 , причем $\rho(\cdot)$ - расстояние в евклидовой метрике.

Необходимо отметить, что ограничения (4)÷(6) могут быть представлены с помощью модифицированной ω -функции [9], которая имеет следующий вид

$$\omega\left(\{R_i; L_i\}, \{R_j; L_j\}, \{x_i; y_i; z_i\}, \{x_j; y_j; z_j\}\right) = \begin{cases} 0; \rho_{ij} \geq R_i + R_j, \\ \pi r_j^2 L^*; \rho_{ij} \leq R_i - R_j, \\ L^* (R_i^2 \arccos \alpha_i + R_j^2 \arccos \alpha_j - \\ - R_i^2 \alpha_i \sqrt{1 - \alpha_i^2} - R_j^2 \alpha_j \sqrt{1 - \alpha_j^2}); \\ R_i - R_j \leq \rho_{ij} \leq R_i + R_j, \end{cases}$$

$$\rho_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}, \quad \alpha_i = \frac{R_i^2 - R_j^2 + \rho_{ij}^2}{2R_i \rho_{ij}}, \quad \alpha_j = \frac{R_j^2 - R_i^2 + \rho_{ij}^2}{2R_j \rho_{ij}}.$$

Здесь L^* - длина области пересечения объектов S_i и S_j .

К особенностям математической модели (3)÷(8) относятся следующие:

- целевая функция (3) является неаналитической;
- ограничения задачи – нелинейные;
- объекты S_0 , S_i и S_{v_i} заданы в пространстве R^3 ;
- в общем случае, количество ограничений, которые необходимо учитывать при решении задачи, равно $2C_N^2 + N(q+1) + 1$, где N - количество объектов покрытия; q - количество областей запрета.

Таким образом, существует необходимость в разработке нового метода определения оптимального количества объектов S_i для покрытия заданной области S_0 , поскольку задача (3)÷(8), на сегодняшний день, в соответствующей постановке не рассматривалась, при этом в литературных источниках отсутствует информация о методах решения задач оптимизационного покрытия в пространстве R^3 .

Выводы. В данной работе разработана математическая модель определения оптимального количества и мест размещения средств мониторинга тепловых полей полигонов твердых бытовых отходов, а также приведены особенности данной модели. Дальнейшие исследования будут направлены на создание метода оптимизационного покрытия заданных многогранников (полигонов ТБО) цилиндрами переменной длины (области, контролируемые техническими средствами мониторинга).

ЛИТЕРАТУРА

1. Грибанова Л.П. Организация и ведение экологического мониторинга на полигонах твердых бытовых и промышленных отходов в Московском регионе / Л.П. Грибанова, В.Н. Гудкова // Науч. и техн. аспекты охраны окруж. среды / ВИНТИ. - М., 1999. - № 3.
2. Иваненко Л.В. Экологические проблемы города и утилизация отходов / Л.В. Иваненко, П.Г. Быкова. - Самара: Кн. изд-во, 1993. – 124 с.

3. Журкович В.В. Отходы: Научное и учебно-методическое справочное пособие / В.В. Журкович, А.И. Потапов. - СПб.: Гуманистика, 2001. – 578 с.
4. Матросов А.С. Управление отходами / А.С. Матросов. – М.: Гардарики, 1999. – 405 с.
5. Гринин А.С., Новиков В.Н. Промышленные и бытовые отходы: Хранение, утилизация, переработка / А.С. Гринин, В.Н. Новиков. – М.: Фаир-Пресс, 2002. - 336 с.
6. Бартоломей А.А. Основы проектирования и строительства хранилищ отходов / А.А. Бартоломей, Х. Брандл, А.Б. Пономарев // Учеб. пособие - 2-е изд., перераб. и доп. – Пермь: Перм. гос. тех. ун-т, 2002 – 204 с.
7. ДБН В.2.4-2-2005 «Полигоны твердых бытовых отходов. Основные положения проектирования».
8. Термоподвеска ТУР-01. Руководство по эксплуатации ЮЯИГ 405226.004 РЭ
9. Стоян Ю.Г. Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования / Ю.Г. Стоян, С.В. Яковлев. – К.: Наук. думка, 1986. – 265 с.

Олениченко Ю.А., Соболев О.М., Собина В.О., Болотских М.В.

Математична модель визначення оптимальної кількості засобів моніторингу теплових полів полігонів твердих побутових відходів

В роботі запропонована математична модель визначення оптимальної кількості та місць розташування засобів моніторингу теплових полів полігонів твердих побутових відходів. Розглянуто особливості даної моделі та зроблено висновки щодо необхідності розробки нового метода розв'язання даної задачі.

Ключові слова: математична модель, моніторинг, полігон твердих побутових відходів

Olenychenko Yu.A., Sobol A.N., Sobina V.A., Bolotskih M.V.

Mathematical model definition the optimum number of devices for monitoring thermal fields in refuse dumps

In this paper the mathematical model definition the optimum number and placement of devices for monitoring thermal fields in refuse dumps is given. The features of the model are considered and made decision development of the new method for solving this problem.

Key words: mathematical model, monitoring, refuse dump