

*И.А. Чуб, д.т.н., доцент, нач. кафедры, НУГЗУ*

## **ОПТИМАЛЬНОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ ПОЖАРООПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ С МИНИМИЗАЦИЕЙ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ АЭРОЗОЛЬНЫМИ ПРОДУКТАМИ ГОРЕНИЯ**

(представлено д-ром техн. наук Комяк В.М.)

Приводится построение математической модели и метода снижения уровня загрязнения атмосферы аэрозольными продуктами горения путем оптимального размещения пожароопасных объектов.

**Ключевые слова:** оптимальное размещение, пожароопасный объект, загрязнение атмосферы аэрозольными продуктами горения.

**Постановка проблемы.** Уровень созданных современной цивилизацией производительных сил достиг такого масштаба, что негативное антропогенное воздействие на природную среду привело к возникновению сложных экологических и социальных проблем. Среди приоритетных направлений социально-экономической политики Украины выделена необходимость повышения уровня техногенной безопасности. При этом особо подчеркивается роль пожаров в ухудшении техногенной обстановки в Украине [1].

**Анализ последних исследований и публикаций.** На сегодняшний день в Украине отсутствует утвержденная методика оценки воздействия на окружающую среду возможного пожара, хотя необходимость подобных прогнозов заложена в ряде нормативно-правовых документов. Согласно ДБН А.2.2-1-2004 [2] в составе проектной документации на строительство, реконструкцию должны содержаться материалы оценки возможных экологически опасных воздействий и зон влияний планируемой деятельности на окружающую среду по вариантам размещения. Закон Украины «Об объектах повышенной опасности» [3] также требует прогноза аварий на объектах, сопровождающихся пожарами, и оценки воздействия на окружающую среду.

Одним из способов минимизации негативного влияния пожара на окружающую среду является оптимальное размещение пожароопасных объектов на стадиях проектирования или реконструкции объектов [4].

**Постановка задачи и ее решение.** В соответствии с вышесказанным целью статьи является разработка математической модели и метода снижения уровня загрязнения атмосферы аэрозольными продуктами горения путем оптимального размещения пожароопасных объектов.

Пусть имеется некоторая замкнутая область  $\mathfrak{R} \subset R^3$ , содержащая  $N$  объектов  $S_i$ , на каждом из которых может возникнуть пожар. В этом случае он будет являться источником загрязнения атмосферы, выбрасывающим на высоту  $H_i$  с интенсивностью  $M_i$  аэрозольные продукты горения,  $i=1,2,\dots,N$ .

В области  $\mathfrak{R}$  могут присутствовать некоторые зоны (экологически значимые зоны), уровень загрязнения в которых жестко регламентируется. Размещение объектов  $S_i$  в них не допускается. Моделями рассматриваемых зон могут выступать неподвижные области запрета  $K_j$  ( $j=1,2,\dots,P$ ) с заданной пространственной формой. Размещение источников загрязнения допускается в некоторой подобласти  $\Omega$  области  $\mathfrak{R}$ :

$$\Omega = (\mathfrak{R}^* \setminus \bigcup_{j=1}^P K_j),$$

где область  $\mathfrak{R}^*$  - проекция области  $\mathfrak{R}$  на  $R^2$ , т.е.  $\mathfrak{R}^* = \text{Pr}_{R^2} \mathfrak{R}$ .

Свяжем область  $\Omega$  с неподвижной системой координат  $XOY$ , а каждый пожароопасный объект  $S_i$  – с подвижной (собственной) системой координат  $X_iO_iY_i$ . Обозначим через  $(x_i, y_i)$  параметры положения подвижной системы координат  $X_iO_iY_i$  (параметры размещения) относительно неподвижной системы координат  $XOY$ ,  $i=1,2,\dots,N$ . В этом случае местоположение множества  $N$  объектов  $S_i$  в области  $\Omega$  определяется вектором  $Z$  вида

$$Z = (x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_N, y_N), \quad Z \in R^{2N}.$$

Количественной характеристикой загрязнения области  $\mathfrak{R}$  продуктами горения является их концентрация в точках области, которая зависит [5] от пространственных координат  $(x, y, z)$ , времени  $t$ , параметров размещения источников загрязнения, характеристик пожара, а также от метеорологических условий в области размещения. В настоящей статье пожар рассматривается на заключительной стадии его развития, когда интенсивность выброса продуктов горения  $M=\text{const}$ , а концентрация продуктов горения в атмосфере соответствует установившемуся значению и не зависит от времени. Нас будет интересовать концентрация продуктов горения на земной поверхности, поэтому можно считать, что она не зависит от  $z$  (область  $\Omega \subset R^2$ ):

$$c = C(x, y, Z, G, Q),$$

где  $G$  – множество физических параметров пожара [6],  $G = \{g_1, g_2, \dots, g_k\}$ ;  $Q$  – множество параметров, которые характеризуют природно-

климатические условия в рассматриваемой области,  $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_r\}$  [6].

Концентрационное поле загрязняющих выбросов пожара определялось в результате решения уравнения турбулентной диффузии с постоянными коэффициентами [7].

Таким образом, концентрация аэрозольных выбросов, определяющая величину уровня загрязнения, зависит от местоположения источников загрязняющих выбросов (пожаров). Это приводит к необходимости решения задачи оптимизации размещения пожароопасных объектов в области  $\Omega$ .

Как показано в [4], задача оптимизации размещения конечного набора  $S = \{S_i\}$  пожароопасных объектов, являющихся источниками загрязняющих аэрозольных выбросов, в заданной области  $\Omega$  сводится к задаче размещения соответствующих зон загрязнения  $T_i$ . Зона  $T_i$  из-за неопределенности времени возникновения пожара представляется как многоугольник, построенный на розе приземного ветра, характерной для данной местности. Граница  $\Gamma_K$  полученного восьмиугольника  $P_K$  – это линия, в каждой точке которой достигается максимальная концентрация примеси в данном направлении  $\lambda$ :

$$C(x,y)|_{(x,y) \in \Gamma_K} = \max C(x,y)|_{\lambda} = C_M|_{\lambda}.$$

Такое построение области загрязнения гарантирует, что за ее пределами концентрация примеси будет меньше, чем на границе.

При построении модели формы зоны загрязнения выбросами пожара были сделаны следующие допущения:

- область  $\Omega$  – плоская горизонтальная равнина, рельеф отсутствует;
- в пределах области  $\Omega$  роза приземного ветра не изменяется.

Учет указанных допущений позволяет моделировать форму всех зон загрязнения подобными восьмиугольниками, соответствующие стороны которых параллельны. Изменение положения источника приводит к изменению положения связанной с ним зоны загрязнения без изменения ее формы и размеров. Это позволяет свести задачу размещения источников загрязняющей примеси к оптимизационной задаче размещения ориентированных восьмиугольных зон загрязнения в заданной области  $\Omega$ .

Постановка оптимизационной задачи размещения пожароопасных объектов в области  $\Omega$  с учетом параметров возможного пожара и климатических условий в области имеет следующий вид:

необходимо в заданной области  $\Omega$  найти такое положение пожароопасных объектов  $S_i$  ( $i=1,2,\dots, N$ ), чтобы уровень загрязнения в экологически значимых зонах  $K_j$  ( $j=1,2,\dots,p$ ) не превышал установленного уровня, и суммарная концентрация аэрозольных выбросов пожара (в случае его

возникновения) на границе  $\Gamma$  области  $\Omega$  была минимальной:

$$\min_{Z \in W} \max_{(x,y) \in \Gamma} C(x, y, Z, G, Q) \quad (1)$$

Результатом решения является вектор  $Z=(x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_N, y_N)$  параметров размещения пожароопасных объектов (полюсов объектов  $T_i$ ). При этом на местоположение объектов  $T_i$  и на результирующее концентрационное поле накладывается система ограничений  $W$ , включающая геометрические и физические условия [4].

*Геометрические ограничения:*

- условия, определяющие взаимное расположение объектов  $S_i$  и  $S_j$ ,  $i \neq j$

- условия, определяющие взаимное расположение объектов  $S_i$  и неподвижных областей запрета  $K_j$

- условия принадлежности объектов  $S_i$  области размещения  $\Omega$

Для формализации геометрических ограничений используем понятие  $\Phi$ -функции двух геометрических объектов [8].

*Физическое ограничение:*

- суммарное значение концентрации аэрозольных выбросов пожаров в заданной системе точек контроля не должно превышать ПДК.

Аналитическое описание физических ограничений базируется на результатах параметризации концентрационного поля в области  $\Omega$  [5].

Из-за сложности оптимизационной задачи (1) не приходится рассчитывать на возможность получения точного решения. Поэтому предлагается метод поиска рациональных решений и их перебор, в результате которого определяется локальный экстремум функции цели.

Предлагаемый метод решения оптимизационной задачи (1) состоит из следующих основных этапов:

- определение начального варианта размещения  $u^0$  пожароопасных объектов  $S_i$ ,  $i = \overline{1, N}$  в области  $\Omega$ . Данная задача формулируется и решается как задача поиска допустимого размещения многоугольных объектов  $T_i$ . Для решения данной задачи предлагается эвристический подход, основанный на методе последовательно-одиночного размещения [8].

- поиск вектора  $u^*$ , соответствующего локальному минимуму функции цели  $F(x, y, Z, G, Q)$ . Вектор  $u^0$  начального размещения объектов  $T_i$  является начальной точкой алгоритма решения оптимизационной задачи методом минимизации по группам переменных, представляющих собой координаты полюса размещаемого объекта  $T_i$ .

Общая схема алгоритма приближения к локальному экстремуму

состоит из следующих этапов:

1. По некоторому правилу определяется объект  $T_i$ , имеющий на  $p$ -ой итерации параметры размещения  $u_i^p = (x_i^p, y_i^p)$ .

2. Выделяются ограничения, формирующие в окрестности полюса  $T_i$  область  $D_i^p$  допустимых параметров его размещения на  $p$ -ой итерации.

3. Определяются новые параметры  $u_i^{p+1} = (x_i^{p+1}, y_i^{p+1})$  размещения  $T_i$ :  $(u_1^p, u_2^p, \dots, u_k^{p+1}, \dots, u_N^p) \in D_k^p$ ,  $F(u_1^p, u_2^p, \dots, u_i^{p+1}, \dots, u_N^p) \leq F(u_1^p, u_2^p, \dots, u_i^p, \dots, u_N^p)$ .

4. Если  $u_i^{p+1} = u_i^p$ , то  $i = i + 1$ . При  $i \leq N$  – возврат к шагу 1.

5. Если  $u^{p+1} \neq u^p$ , то переходят ( $p+1$ )-й итерации. В противном случае решением задачи считаются параметры размещения объектов на  $p$ -ой итерации.

Сдвиг объекта  $T_i$  выполняется в направлении антиградиента функции  $F(u)$  по параметрам размещения  $T_i$ . В этом случае конкретные алгоритмы, реализующие приведенную общую схему, могут различаться правилом определения подвижного объекта  $T_i$  и выбором величины шага его сдвига.

- перебор локальных минимумов функции цели. При этом выделяется рекордное значение функции цели и определяется соответствующий ему вектор  $u^{**}$  параметров размещения объектов.

Количество перебираемых локальных минимумов может определяться, исходя из условий и ограничений конкретной задачи.

**Выводы.** Использование предложенной математической модели и метода оптимального размещения пожароопасных объектов на стадиях разработки генеральных планов или планов реконструкции промышленного предприятия позволяет минимизировать негативное влияние возможного пожара и, тем самым, повысить общий уровень пожарной безопасности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2011 році / Керівники підготовки: Балога В.І., Злочевський М.В., Патон Б.Є. – Львів: ЛДУБЖ, 2012. – 359 с.

2. Проектування. Склад, порядок розроблення, погодження та затвердження проектної документації для будівництва: ДБН А.2.2-3-2004. – Офіц. вид. – К.: Держбуд України, 2004. – 31 с.

3. Про об'єкти підвищеної небезпеки: Закон України. – Офіц. вид. – К.: ВР України, 2001. – 43 с.

4. Морщ Е.В. Снижение уровня негативного воздействия выбросов возможного пожара за счет оптимального размещения объектов / Оптимальное размещение пожароопасных объектов с минимизацией уровня загрязнения ат- 235  
мосферы аэрозольными продуктами горения

Е.В. Морщ, И.А. Чуб // Тези доповідей наук.-техн. конф. «Наглядно-профілактична діяльність в МНС України». – Харків: АЦЗУ, 26 березня 2004. – С. 56-57.

5. Чуб И.А. Параметризация концентрационного поля аэрозольных выбросов пожара / И.А. Чуб, Е.В. Морщ // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. АПБ Украины. – Харьков: Фолио, 2003. – Вып. 13. – С. 159-162.

6 Чуб И.А. Моделирование влияния пожара на окружающую среду / И.А. Чуб, Е.В. Морщ, В.Е. Пустоваров // Системы обработки інформації. – 2002. – Вип.5 (21). – С. 174 – 176.

7. Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы / М.Е. Берлянд. – Ленинград: Гидрометеиздат. – 1975. – 448 с.

8. Стоян Ю.Г. Размещение источников физических полей / Ю.Г. Стоян, В.П. Путятин. –К.: Наукова думка. – 1981. –182 с.

nuczu.edu.ua

І.А. Чуб

**Оптимальне розміщення пожежонебезпечних об'єктів з мінімізацією рівня забруднення атмосфери аерозольними продуктами горіння**

Наводиться побудова математичної моделі та методу зниження рівня забруднення атмосфери аерозольними продуктами горіння шляхом оптимального розміщення пожежонебезпечних об'єктів.

**Ключові слова:** оптимальне розміщення, пожежонебезпечний об'єкт, забруднення атмосфери аерозольними продуктами горіння.

I.A. Chub

**Optimal placement of flammable objects while minimizing air pollution aerosol products of combustion**

The constructed mathematical model and method of reducing air pollution by aerosol products of combustion through the optimal placement of flammable objects.

**Keywords:** optimal placement, flammable object, air pollution by aerosol products of combustion.