

УДК 515.2

И.А. Чуб

Национальный университет гражданской защиты Украины, Харьков

МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАЗМЕЩЕНИЯ ПОЖАРООПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ ФОРМЫ И РАЗМЕРОВ ЗОНЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Предлагается метод решения задачи оптимизации размещения пожароопасных объектов с учетом рельефа местности.

Ключевые слова: оптимизация, размещение, геометрический объект, Φ -функция.

Введение

Постановка проблемы. Одним из важных факторов, приводящих к усложнению экологической обстановки в Украине и мире, являются пожары и техногенные катастрофы, которые сопровождаются пожарами. Среди первоочередных задач повышения экологической безопасности выделяются: изучение особенностей негативного влияния пожаров на окружающую среду, построение математической модели для количественной оценки этого влияния при загрязнении окружающей среды аэрозольными продуктами горения и разработку методов снижения этого влияния, в частности методов оптимального размещения пожароопасных объектов. Поэтому разработка математической модели и метода решения задачи оптимизации размещения пожароопасных объектов с учетом влияния опасных факторов возможного пожара на окружающую среду является актуальной научной задачей.

Анализ последних достижений и публикации. Оптимизации размещения пожароопасных объектов с учетом влияния на окружающую среду выбросов возможного пожара посвящены публикации [1, 2].

Однако, при построении математических моделей оптимизационных задач направление и скорость ветра считались неизменными, и не учитывалось влияние рельефа местности, приводящее к деформации поля скорости приземного ветра и, как результат, к изменению формы области загрязнения.

В работе [3] изложен метод построения восьмиугольной области загрязнения, учитывающий рельеф местности, в [4] построено формализованное описание ограничений задачи размещения пожароопасных объектов с учетом рельефа местности на основе Φ -функций.

Постановка задачи. Оптимизационная задача размещения на территории предприятия N пожароопасных объектов с учетом рельефа местности формулируется следующим образом:

необходимо найти такое положение пожароопасных объектов S_i ($i = 1, 2, \dots, N$), в области Ω с

учетом ее рельефа, чтобы максимальная суммарная концентрация аэрозольных выбросов в конечном множестве точек контроля P , расположенных в экологически значимых зонах, была минимальной:

$$\min F = \min_{Z \in W} \max_{p_k \in P} C(p_k, Z), \quad (1)$$

где $P = \{p_j\}$, $p_j = (x_j^p, y_j^p) \Big|_{x_j^p, y_j^p \in \Omega}$, $j = 1, 2, \dots, J$,

а суммарная концентрация аэрозольных выбросов пожаров в k -й точке контроля от N источников выбросов определяется как суперпозиция

$$C(p_k, Z) = \sum_{i=1}^N C(x_k^p, y_k^p, x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_N, y_N).$$

Результатом решения задачи (1) является вектор $Z = (x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_N, y_N)$ параметров размещения пожароопасных объектов.

Замечание 1.

Под размещением пожароопасного объекта S_i в области Ω мы будем понимать размещение соответствующей ему восьмиугольной зоны загрязнения T_i ($i=1, 2, \dots, N$), построенной по правилам [3, 4].

Замечание 2.

Учет рельефа приводит к зависимости формы зоны загрязнения T_i от положения объекта S_i в области Ω . Вследствие этого задача (1) есть задача оптимизации размещения многоугольников с изменяемыми метрическими характеристиками и формой в заданной области.

Область допустимых решений W формируется системой ограничений, включающей геометрические ограничения на параметры размещения объектов S_i и физические ограничения на характеристики результирующего поля приземных концентраций аэрозольных выбросов пожара в области Ω . Кроме того, система ограничений может содержать дополнительные условия (технологические), которые связаны с размещением пожароопасных объектов S_i относительно транспортной сети, инженерных коммуникаций и представляются, как правило, набором допустимых расстояний L_{ij}^* .

Геометрические ограничения на размещение объектов T_i в области Ω , формализованные с использованием Φ -функций, имеют вид [4]:

- условия, определяющие взаимное непересечение объектов T_i и T_j ($i, j = 1, 2, \dots, N, i \neq j$):

$$\Phi_{ij}(x_i, y_i, x_j, y_j) \geq 0; \quad (2)$$

- условия, определяющие взаимное непересечение объектов T_i ($i = 1, 2, \dots, N$) и областей запрета K_l ($l = 1, 2, \dots, L$) – экологически значимых зон, размещение в которых объектов S_i не допускается:

$$\Phi_{ij}^*(x_i, y_i, x_j, y_j) \geq 0; \quad (3)$$

- условия, определяющие принадлежность объектов T_i ($i = 1, 2, \dots, N$) области размещения Ω :

$$\Phi_{i0}(x_i, y_i, m_0) \geq 0, \quad (4)$$

где $\Phi_{ij}(x_i, y_i, x_j, y_j)$ – Φ -функция объектов T_i и T_j ; $\Phi_{ij}^*(x_i, y_i, x_j, y_j)$ – Φ -функция объекта T_i ; и области запрета K_j ; $\Phi_{i0}(x_i, y_i, m_0)$ – Φ -функция объекта T_i и области $\Omega^* = cl(R^2 / \Omega)$, m_0 – метрические характеристики области Ω^* .

Физическим ограничением на характер поля приземных концентраций выбросов пожаров сформулированной задачи является условие [4]:

$$C(Z)|_{\Gamma} + C_{\phi} \leq \text{ПДК}, \quad (5)$$

где $C(Z)$ – функция концентрации загрязняющих веществ, достигаемая выбросами из N источников, на границе Γ области Ω ; C_{ϕ} – фоновая концентрация.

Формализация геометрических ограничений (2) – (4) с использованием Φ -функций проведена в работе [4], там же изложен метод построения Φ -функций вида (2), который позволяет при решении задачи не учитывать физические ограничения (5).

Изложение основного материала

Оптимизация размещения пожароопасных объектов с учетом рельефа местности

Методика оптимального размещения пожароопасных объектов с минимизацией негативного влияния опасных факторов пожара состоит из трех основных этапов. Содержание этапов решения конкретной практической задачи определяется ее спецификой, однако можно выделить основные особенности, не зависящие от характера решаемой задачи.

Этап 1. Определение и анализ исходных данных.

Исходными данными, необходимыми для решения поставленной задачи, являются геометрические характеристики и рельеф области размещения, характеристики размещаемого пожароопасного объекта, особенности пожара, который может возникнуть на объекте, и природно-климатические условия в области размещения. На этом этапе определяются геометрические характеристики зон загрязнения (размещаемых объектов T_i с изменяемыми метрическими характеристиками) методом, изложенном в [3].

Этап 2. Получение множества вариантов размещения пожароопасных объектов.

Методом, который предложен в настоящей работе, решается оптимизационная задача (1) – (5) и определяется набор вариантов размещения пожароопасных объектов в заданной области с учетом рельефа местности.

Этап 3. Определение оптимального размещения пожароопасных объектов.

На основе анализа множества полученных проектных решений предлагается оптимальный вариант размещения пожароопасных объектов с учетом всего комплекса требований.

Метод решения оптимизационной задачи

В силу сложности оптимизационной задачи (1) – (5) не приходится рассчитывать на возможность получения точного решения. Поэтому предлагается метод поиска приближенного значения минимума функции цели, состоящий из следующих шагов:

- 1) определение начального варианта размещения объектов T_i ($i = 1, 2, \dots, N$);
- 2) поиск вектора Z^* , соответствующего локальному минимуму функции цели F ;
- 3) перебор локальных минимумов функции цели F .

Определение начального размещения объектов T_i в области Ω . Для решения данной задачи предлагается алгоритм, основанный на методе последовательно-одиночного размещения многоугольных ориентированных геометрических объектов с изменяемыми метрическими характеристиками. Итерационный процесс поиска начального размещения объектов T_i , состоит из следующей последовательности шагов:

- *определение последовательности размещения источников выбросов.* Источники (пожароопасные объекты) ранжируются по величине площади зоны загрязнения, и первым размещается источник, имеющий наибольшую площадь зоны загрязнения;

- *построение допустимой области Ω_1 размещения объекта R_1 .* Поскольку на этом этапе в области Ω отсутствуют другие размещаемые объекты, то система ограничений будет включать в себя условия (3) – (5);

- *определение параметров размещения объекта R_1 в области Ω_1 .* Объект R_1 размещается таким образом, чтобы максимальное значение поля концентраций продуктов горения на границе Γ области Ω было минимальным. Геометрически это означает, что первый объект помещается в точку, максимально удаленную от границы области Ω ;

- *построение допустимой области Ω_i размещения объекта R_i , $i = 2, \dots, N$.* После размещения объекта T_{i-1} в области Ω_{i-1} возникает область D_{i-1} , которая является запрещенной для размещения сле-

дуючого об'єкта. Тоді допустима область Ω_i представляє собою $\Omega_i = \Omega_{i-1} / D_{i-1}$;

- розміщення об'єкта R_i в допустимій області Ω_i , $i = 2, \dots, N$. Розміщення об'єкта R_i в допустимій області Ω_i происходит аналогічно розміщенню об'єкта R_1 в області Ω_1 , но система обмежень складається з умов (2) – (5);

- визначення вектора Z_0 початкового розміщення об'єктів в області Ω . Після розміщення всіх об'єктів формується вектор Z_0 .

Визначення локального мінімуму функції цільової F. Для пошуку мінімуму використовуємо схему методу мінімізації по групах змінних. Змінні представляють собою координати полюса розміщуваного об'єкта T_i . Вибір об'єкта, починаючого рух першим, здійснюється, виходячи з найбільшого зростання цільової функції в залежності від параметрів його розміщення при фіксованому положенні інших об'єктів. Напрямок зсуву об'єкта T_k збігається з антиградієнтом цільової функції по параметрам його розміщення:

$$z_i^{p+1} = z_i^p - \alpha_i^p g_i^p,$$

де z_i^{p+1} і z_i^p – параметри розміщення об'єкта T_i на $(p+1)$ -й і p -й ітераціях; α_i^p – величина кроку зсуву; g_i^p – градієнт функції цільової по параметрам розміщення об'єкта T_i .

Вибір такого методу рішення, являючогося модифікацією методу Гаусса-Зейделя, обумовлено особливостями даної задачі і дозволяє отримати достатньо хороше наближення до локального мінімуму.

Перевірка локальних мінімумів функції цільової F. Пошук локального мінімуму функції цільової виконується для декількох варіантів початкового розміщення об'єктів T_i в області з наступним визначенням найкращого значення функції цільової і відповідного йому вектора Z^* координат полюсів небезпечних об'єктів. Кількість перебираємих локальних мінімумів визначається особою, приймаючою рішення, виходячи з умов і обмежень конкретної задачі.

Практична реалізація методу

Оптимізація розміщення небезпечних об'єктів в заданній області з урахуванням рельєфу місцевості, виконана запропонованим методом, показана на прикладі реконструкції газопереробного заводу (Чернігівська область).

Підготовка вихідних даних. Загальна площа підприємства становить близько 100 га, максимальні розміри в плані – 1400 м × 1000 м (рис. 1). При проведенні реконструкції було прийнято рішення про будівництво на території підприємства

двох додаткових резервуарних парків для зберігання бензину і маюта. Розміщувані об'єкти – 2 резервуарних парків з 3 наземних вертикальних сталевих резервуарів ємністю по 400 м³ (РВС-400). Горіння происходит тільки в одному з трьох резервуарів парку.

Для визначення геометричних параметрів зони забруднення при наявності в області розміщення рельєфу, викликаючого деформацію швидкості приземного вітру, була побудована модель рельєфу області розміщення. Інформація про рельєф взята з топографічної карти району розташування реконструйованого підприємства з масштабом 1:5000 (рис. 1). Методом, описаним в роботі [5], на основі цієї інформації отримана модель рельєфу області розміщення в вигляді всюди гладкої функції $z = \mathfrak{R}(x, y)$.

Графік функції представлений на рис. 2.

Модель для визначення швидкості приземного вітру в будь-якій точці області була побудована методом, викладеним в [6], з використанням знайденої функції рельєфу.

На основі інформації про швидкість і напрямок зворушеного приземного вітру в заданній точці області розміщення методом, викладеним в роботі [3], були знайдені метричні характеристики Γ_i , ($i=1, \dots, 8$) восьмикутної зони забруднення T_i .

Технологічні обмеження:

- резервуарні парки повинні розміщуватися не далі 200 м від під'їзних залізничних шляхів:

$$L_1 \leq 200 \text{ м}; \quad (6)$$

- резервуарні парки повинні розміщуватися не ближче 100 м від будівель і споруд підприємства:

$$L_2 \geq 100 \text{ м}. \quad (7)$$

Задача оптимізації розміщення на території підприємства двох небезпечних об'єктів (резервуарні парки зберігання бензину і маюта) формулюється наступним чином:

визначити можливе місцезнаходження небезпечних об'єктів S_i ($i = 1, 2$) в області Ω , щоб максимальна сумарна концентрація аерозольних викидів можливих пожег в кінцевому множинстві точок контролю P була мінімальною: т.е. знайти

$$\min_{Z \in W} \max_{(x_j^p, y_j^p) \in P} \sum_{i=1}^2 C(x_j^p, y_j^p, G, Q). \quad (13)$$

Область допустимих рішень W задачі (8) формувалася обмеженнями (2) – (4) і (6) – (7). Допустима область Ω_1 розміщення формується обмеженнями (4), (6), (7). Вона представляє собою зв'язане множинство, складається з трьох компонент зв'язності $\Omega_1^1, \Omega_1^2, \Omega_1^3$ з кусочно-лінійними границями $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3$.

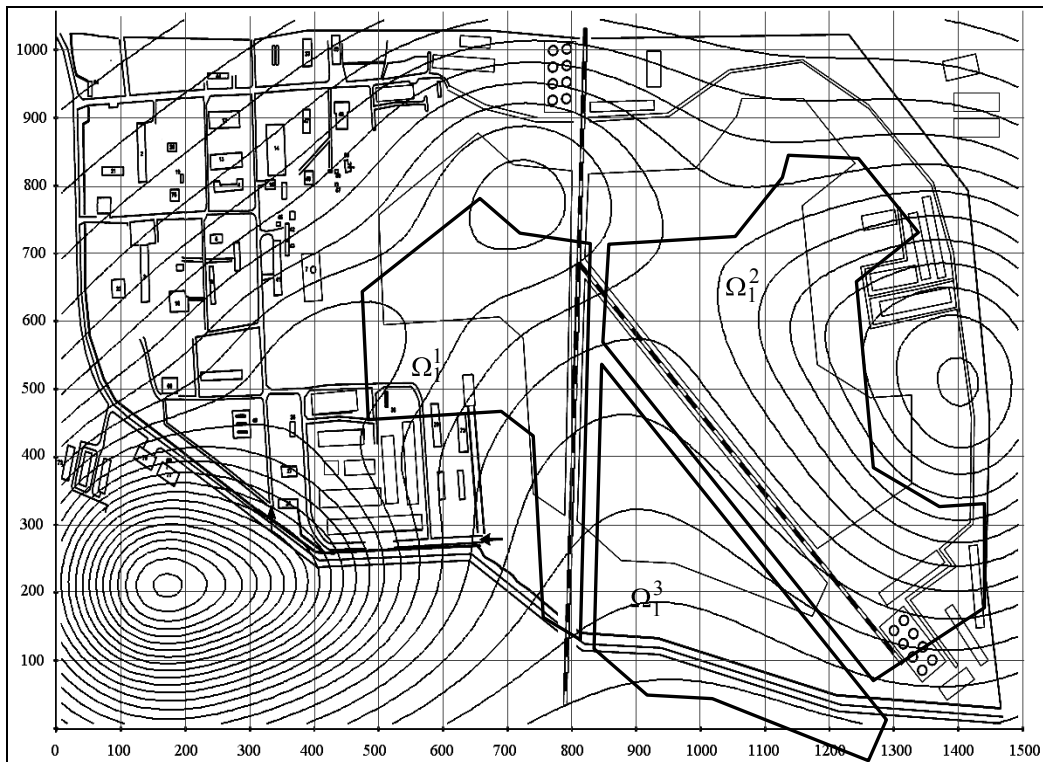


Рис. 1. Топография территории ГПЗ (межгоризонтальное расстояние – 1 м)

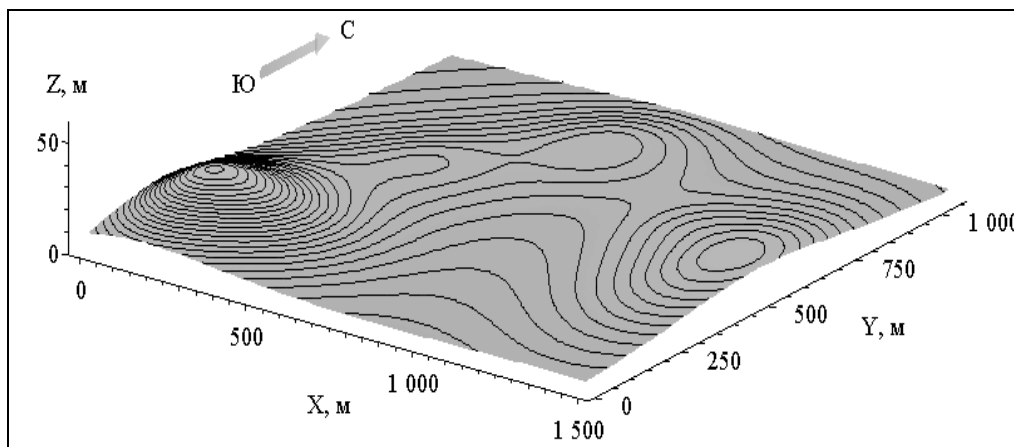


Рис. 2. График поверхности рельефа территории ГПЗ

Результат построения области Ω_1 показан на рис. 1.

Границы Γ_i задавались координатами вершин, упорядоченными по часовой стрелке в системе координат, связанной с областью Ω (табл. 1).

Таблица 1
Координаты вершин границ Γ_i

№	Ω_1^1		Ω_1^2		Ω_1^3	
	x, м	y, м	x, м	y, м	x, м	y, м
1	2	3	4	5	6	7
1	580	835	1070	880	1087	125
2	630	785	1150	787	875	200
3	710	780	1065	725	775	210
4	700	275	1087	500	725	262

Окончание табл. 1

5	663	300	1170	450	737	620
6	637	537	1237	455	1112	162
7	650	567	1235	325		
8	425	550	1087	225		
9	420	712	737	650		
10			740	775		
11			909	780		
12			970	860		
13			975	880		

Значения концентрации аэрозольных выбросов возможных пожаров на объектах S_1 и S_2 определялись в 20 контрольных точках (табл. 2).

Таблиця 2
Координати точок контролю концентрації аерозольних вибросов пожеаров

p_j	1	2	3	4	5	6	7
x, м	780	840	1170	1180	1200	1235	1215
y, м	870	890	700	620	575	180	125
p_j	8	9	10	11	12	13	14
x, м	550	550	556	510	430	350	320
y, м	320	385	470	435	450	440	620
p_j	15	16	17	18	19	20	
x, м	320	375	365	440	550	700	
y, м	760	780	850	885	935	870	

В силу несвязности области Ω_1 построение набора возможных вариантов размещения проводилось по каждой компоненте связности отдельно. Для этого была произведена декомпозиция основной оптимизационной задачи (13) на девять подзадач, соответствующих размещению объектов S_1 и S_2 в различных компонентах связности области Ω_1 . В каждом варианте расчеты производились для десяти точек начального размещения пожароопасных объектов S_1 и S_2 в компонентах связности области Ω_1 на территории предприятия с выделением рекордного значения целевой функции. Результаты расчетов сведены в табл. 3.

Таблиця 3
Варианти рішення оптимізаційної задачі (8)

Номер варианта	Параметры размещения объекта S_1		Параметры размещения объекта S_2		Max C
	x_1	y_1	x_2	y_2	
1-1	820	640	700	735	1.12
2-2	925	640	1100	400	1.29
3-3	1000	255	1015	450	1.08
1-2	750	690	985	560	1.86
1-3	755	655	975	495	1.92
2-1	1065	435	820	650	1.54
2-3	930	620	940	275	1.36
3-1	1000	445	820	630	1.14
3-2	975	280	950	600	1.11

Окончательный вариант возможного размещения объектов S_1 и S_2 (резервуарных парков) на территории предприятия соответствует варианту 3-3.

Выводы. Направления дальнейших исследований

Таким образом, предложен метод решения задачи оптимизации размещения пожароопасных объектов с учетом рельефа местности.

Практическое его использование возможно при проектировании производственных систем с пожароопасными объектами.

Список литературы

1. Чуб И.А. Моделирование размещения пожароопасных объектов с учетом опасных факторов возможного пожара / И.А. Чуб, Е.В. Морц // Проблемы пожарной безопасности. – 2004. – Вып. 15. – С. 224-227.
2. Морц Е.В. Оптимизация размещения пожароопасных объектов на территории промышленного предприятия / Е.В. Морц // Проблемы пожарной безопасности. – 2005. – Вып. 17. – С. 125-129.
3. Чуб И.А. Условия размещения экологически опасного объекта с учетом изменения геометрических характеристик области возможного загрязнения / И.А. Чуб, М.В. Новожилова // Науковий вісник будівництва. – 2009. – Вып. 54. – С. 240-248.
4. Чуб И.А. Формализация системы ограничений задачи размещения пожароопасных объектов с учетом рельефа местности / И.А. Чуб // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУ ПС, 2010. – Вып. 3(25). – С. 55-62.
5. Абрамов Ю.А. Формирование априорной информации для систем ликвидации последствий чрезвычайной ситуации / Ю.А. Абрамов, А.А. Тарасенко // Проблемы надзвичайних ситуацій. – 2007. – Вып. 6. – С. 11-22.
6. Абрамов Ю.А. Математическая модель локальных воздушных течений над поверхностью рельефа / Ю.А. Абрамов, А.А. Тарасенко // Науковий вісник будівництва. – 2008. – Вып. 45. – С. 132-139.

Поступила в редколлегию 2.09.2010

Рецензент: д-р физ.-мат. наук, проф. Н.Д. Сизова, Харьковский государственный технический университет строительства и архитектуры, Харьков.

МЕТОД РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ РОЗМІЩЕННЯ ПОЖЕЖОНЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ З УРАХУВАННЯМ ЗМІНИ ФОРМИ ТА РОЗМІРІВ ЗОНИ ЗАБРУДНЕННЯ

І.А. Чуб

Пропонується метод розв'язання задачі оптимізації розміщення пожежонебезпечних об'єктів з урахуванням рельєфу місцевості.

Ключові слова: оптимізація, розміщення, геометричний об'єкт, F -функція.

A METHOD OF SOLVING THE PROBLEM OF LOCATING FIRE OBJECTS SUBJECT TO CHANGE SHAPE AND SIZE OF THE ZONE OF CONTAMINATION

I.A. Chub

A method of solving the problem of optimizing placement of flammable objects in view of the terrain is proposed.

Keywords: optimization, placement, geometric object, the F -function.