

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ РАЗМЕЩЕНИЯ ПОЖАРООПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ С УЧЕТОМ РЕЛЬЕФА ОБЛАСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ

Проведены построение и анализ оптимизационной математической модели размещения пожароопасных объектов, являющихся в случае пожара источниками загрязняющих аэрозольных выбросов, с учетом рельефа области размещения. Рассматриваемая задача сводится к оптимизационной задаче размещения многоугольных объектов с изменяемыми метрическими характеристиками и пространственной формой.

**Ключевые слова:** оптимизация, размещение пожароопасных объектов, рельеф области.

### 1. АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ

В настоящее время техногенные катастрофы, сопровождающиеся пожарами, являются одним из важных факторов, приводящих к усложнению экологической обстановки. В этих условиях учет загрязнения окружающей среды продуктами горения возможного пожара и снижение его уровня при проектировании и реконструкции производственных систем является весьма актуальной задачей как в теоретическом, так и в практическом аспектах. Одним из действенных методов снижения вредного экологического воздействия пожаров и повышения общего уровня пожарной безопасности региона есть оптимальное размещение в нем пожароопасных объектов, которые являются источниками повышенной взрыво- и пожароопасности.

### 2. АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Анализ научной литературы показал, что абсолютное большинство авторов развивают методологию математического и компьютерного моделирования процессов негативного экологического влияния пожаров с той или иной степенью учета динамики атмосферных процессов и конкретных метеорологических условий [1, 2]. Наряду с этим относительно небольшое число публикаций [3, 4] посвящено моделированию и решению более общей задачи оптимизации размещения пожароопасных объектов с учетом геоклиматических факторов. В работах [3, 4] исследована математическая постановка задачи размещения пожароопасных объектов с учетом негативного воздействия возможного пожара и предложен метод их рационального размещения, позволяющий минимизировать уровень загрязнения экологически значимых зон аэрозольными выбросами пожара. При этом задача размещения пожароопасных объектов сведена к задаче размещения соответствующих им зон загрязнения. Рельеф области размещения не учитывался, направление и скорость ветра в пределах области считались

постоянными. В качестве источника загрязнения выступал пожар в заданной области  $\Omega$ , выбрасывающий на высоту  $H$  с интенсивностью  $M$  аэрозольные продукты горения. Авторам удалось свести задачу оптимального размещения пожароопасных объектов к задаче нерегулярного размещения ориентированных геометрических объектов (фиксированных восьмиугольных областей загрязнения) в ограниченной многосвязной области с учетом заданной системы ограничений.

В работе [5] была проведена параметризация концентрационного поля аэрозольных выбросов пожара резервуара с нефтепродуктами в зависимости от его физических и метрических характеристик, параметров размещения в области, направления и скорости ветра. Для этого величины  $M$  и  $H$  были выражены через физические параметры пожара и климатические характеристики в области  $\Omega$ .

Как показывает анализ литературных источников, в большинстве случаев распространение загрязняющих примесей моделируется краевыми задачами турбулентной диффузии [6, 7] без учета рельефа местности и связанного с ним изменения направления и скорости ветра в области размещения. Другими словами, рассматриваются задачи, в которых размещаемые объекты имеют фиксированные метрические характеристики. Между тем, при проектировании производственных систем, содержащих пожароопасные объекты, с учетом рельефа местности и изменения параметров ветра возникают задачи оптимизации размещения объектов с изменяемыми метрическими характеристиками и пространственной формой.

### 3. ЦЕЛЬ СТАТЬИ

В соответствии с вышесказанным целью статьи является разработка математической модели оптимального размещения пожароопасных объектов в заданной области с учетом ее рельефа для снижения уровня загрязнения атмосферы аэрозольными продуктами горения.

#### 4. ПОСТАНОВКА ОПТИМИЗАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ РАЗМЕЩЕНИЯ ПОЖАРООПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

Пусть имеется замкнутая ограниченная многоугольная, в общем случае многосвязная область  $S_0 \subset R^2$ , заданная координатами ее вершин  $v_\psi, \psi = \overline{1, \Psi}$ .

В области  $S_0$ , выделяется область размещения  $\Omega$

$$\Omega = S_0 / \bigcup_{c=1}^C \Omega_c,$$

где  $\Omega_c(a_c, b_c)$  – множество выпуклых областей запрета,  $(a_c, b_c)$  – фиксированные параметры размещения,  $c = \overline{1, C}$  (рис. 1).

Тогда оптимизационная задача размещения  $N$  пожароопасных объектов в области  $\Omega$  с учетом ее рельефа формулируется следующим образом: определить такое расположение объектов  $S_i, i = \overline{1, N}$ , в области, чтобы максимальная суммарная концентрация аэрозольных выбросов возможных пожаров в конечном множестве точек контроля  $P = \{p_\zeta\} = \{x_\zeta^p, y_\zeta^p\}, \zeta = \overline{1, \lambda}$ , была минимальной, т. е. найти

$$\min_{(x_i, y_i) \in D} \max_{(x_\zeta^p, y_\zeta^p) \in P} \sum_{i=1}^N C(x_\zeta^p, y_\zeta^p, x_i, y_i, G_i, Q). \quad (1)$$

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

В статье рассматривается пожар на заключительной стадии его развития (интенсивность выбросов  $M = \text{const}$ ), следовательно, можно принять, что распределение наземной концентрации загрязняющих выбросов не зависит от времени.

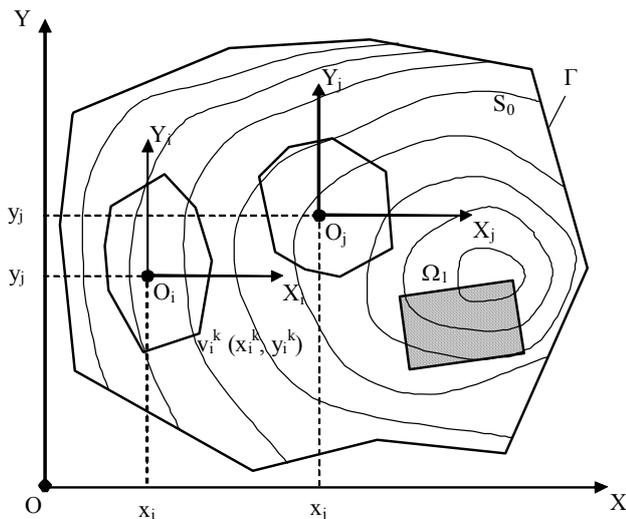


Рис. 1. Область  $S_0$  с размещаемыми объектами, зоной запрета  $\Omega_1$  и изолиниями рельефа  $\mathfrak{R}(x, y)$

Если исключить из рассмотрения пожары, занимающие очень большие площади (лесные, степные и т. п.), то размеры пожара малы по сравнению с расстояниями, на которых исследуется создаваемое им концентрационное поле. Поэтому пожароопасный объект  $S_i$  можно считать точечным источником выбросов.

Количественной характеристикой загрязнения области  $\Omega$  продуктами горения является их концентрация в точках  $(x, y)$  области:

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

где  $G = \{G_i\}$  – множество параметров пожаров на объектах  $S_i; G_i = \{g_i^k\}, k = \overline{1, K}, Q = \{q_h\}$  – множество геоклиматических условий в области  $\Omega, h = \overline{1, \hbar}$ .

Объектом размещения является зона загрязнения  $T_i$ , создаваемая пожаром. Из-за неопределенности времени возникновения пожара  $T_i$  представляется как восьмиугольник, построенный на розе приземного ветра, характерной для данной территории.

В наземном распределении концентрации  $C(x, y, u, G, Q)$ , которая создается объектом  $S_i$ , наблюдается максимум [6, 7]. Поэтому в качестве границы  $\Gamma_i$  полученного многоугольника  $T_i$  принята линия, в каждой точке которой достигается максимальная концентрация загрязняющей примеси в заданном направлении  $\lambda$ :

$$C(x, y, (x_i, y_i), G_i, Q)|_{(x,y) \in \Gamma_i} = \max C(x, y, (x_i, y_i), G_i, Q) \lambda.$$

Такое построение области загрязнения  $T_i$  гарантирует, что вне ее концентрация примеси будет меньше, чем на границе  $\Gamma_i$ .

#### 5. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗОНЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ АЭРОЗОЛЬНЫМИ ВЫБРОСАМИ ПОЖАРА

Пусть в общей системе координат OXYZ задана область размещения  $\Omega^*$  с функцией рельефа  $z = \mathfrak{R}(x, y)$ . В области  $\Omega^*$  определено векторное поле скоростей приземного ветра  $\vec{v}_{g1}(x, y, z)$ , которое однозначно задается рельефом  $\mathfrak{R}(x, y)$ . Проекцию области на горизонтальную плоскость XOY обозначим  $\Omega$ .

В области  $\Omega$  определена функция  $\xi = \xi(x, y)|_{(x,y) \in \Omega}$ , значение которой в любой точке  $(x, y) \in \Omega$  численно равно длине проекции на плоскость XOY вектора приземной скорости ветра  $v_{g1}(x, y, z)$  в точке  $(x, y, z) \in \Omega^*$ :

$$\forall (x, y) \in \Omega \exists \xi(x, y) = |\text{Pr}_{XOY} v_{g1}(x, y, z)|.$$

В области  $\Omega^*$  размещается пожароопасный объект  $S_1$  (источник выбросов). Возможный пожар на объекте  $S_1$  порождает зону загрязнения  $T_1^*$ , проекция которой на плоскость XOY представляет собой выпуклую многоугольную область  $T_1$  (рис. 2).

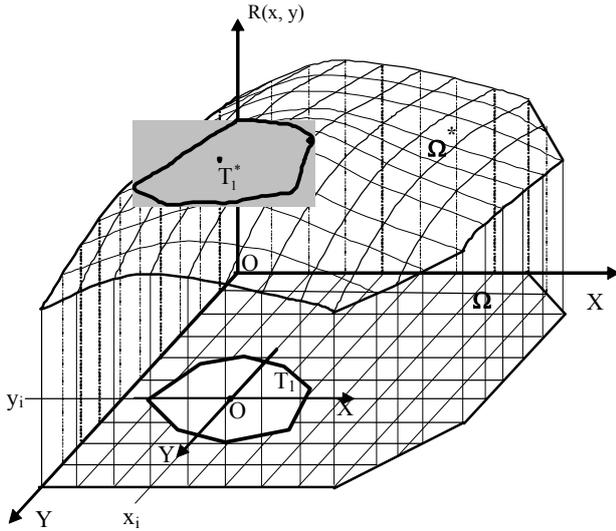


Рис. 2. Размещение объекта  $T_1$  в области  $\Omega$

Задание в точках области  $\Omega \in R^2$  функции  $\xi = \xi(x, y)|_{(x,y) \in \Omega}$  позволяет свести исходную задачу размещения объекта  $T_1^*$  в области  $\Omega^* \in R^3$  к задаче размещения его проекции  $T_1$  в области  $\Omega \in R^2$  [3]. Поэтому под размещением объекта  $S_1$  в области  $\Omega^* \in R^3$  с рельефом будем понимать размещение проекции зоны загрязнения  $T_1$  в области  $\Omega \in R^2$ .

Рассмотрим объект  $T_1$ . С ним связана подвижная система координат  $X_1O_1Y_1$ , начало которой (полюс  $O_1$  объекта  $T_1$ ) совмещен с источником  $S_1$ . Положение полюса  $O_1$  объекта  $T_1$  в общей системе координат  $XOY$  характеризуется параметрами размещения  $(x_1, y_1)$ . Объект  $T_1$  задается набором  $r_1^k = \{r_1^k\}$  расстояний от его полюса до вершин  $v_1^k(x_1^k, y_1^k)$ ,  $k = \overline{1,8}$ :

$$r_1^k = \sqrt{(x_1 - x_1^k)^2 + (y_1 - y_1^k)^2}. \quad (2)$$

Расстояния  $r_1^k$  меняются в зависимости от значения функции  $\xi$  в точке  $(x_1, y_1) \in \Omega$  положения полюса объекта  $T_1$ :

$$r_1^k = r_1^k(\xi(x_1, y_1)). \quad (3)$$

Таким образом, зона загрязнения  $T_1$  представляет собой многоугольник с изменяемыми метрическими характеристиками и формой.

При определении  $r_1$  необходимо учесть следующие требования:

– за пределами зоны  $T_1$  концентрация загрязняющей примеси должна быть меньше, чем на границе  $\Gamma_1$ :

$$C(x, y)|_{(x,y) \in \Gamma_1} > C(x, y)|_{(x,y) \in \Omega \setminus T_1}; \quad (4)$$

– концентрация примеси на границе  $\Gamma_1$  области  $T_1$  не должна превышать ее предельно допустимую концентрацию (ПДК)

$$C(x, y)|_{(x,y) \in \Gamma_1} \leq \text{ПДК}. \quad (5)$$

Условия (4)–(5) выполняются, если в качестве  $r_1^k$  выбираются расстояния  $X_M^k$ ,  $k = \overline{1,8}$  от источника  $S_1$ , на которых наблюдается максимум приземной концентрации  $C_M$  примеси в данном направлении, а величина концентрации  $C_M$  не превышает ПДК (рис. 3).

Если  $C_M \geq \text{ПДК}$ , то в качестве  $r_1^k$  в направлении  $\lambda^k$  выбирается расстояние  $X^{k*} > X_M^k$ , для которого выполняется условие

$$C^* = C(X^{k*}) \leq \text{ПДК}.$$

При наличии в области размещения  $\Omega$  рельефа  $\mathfrak{R}(x, y)$  величина  $r_1^k$  представляет длину проекции на плоскость  $XOY$  кривой  $z = \mathfrak{R}(x, y)$  в направлении  $\lambda^k$ , при условии, что длина кривой равна  $X_M^k$  (или  $X^{k*}$ ).

При построении модели зоны загрязнения (объекта  $T_1$ ) приняты следующие допущения:

Д\_1. Рельеф в пределах области  $\Omega$  является слабо пересеченным (холмистым).

Д\_2. Движение воздушных масс над областью  $\Omega$  происходит параллельно ее поверхности.

Д\_3. Движение воздушных масс над областью  $\Omega$  носит стационарный ламинарный характер.

Допущения 2, 3 справедливы для областей со слабо развитым рельефом, что подтверждается наблюдательными данными [7].

Д\_4. В пределах зоны загрязнения (объект  $T_1$ ) приземная скорость ветра не меняется ни по величине, ни по направлению.

В условиях слабо пересеченного рельефа при характерном размере зоны загрязнения аэрозольными выбросами пожара  $r \cong 100$  метров [4] изменение вектора скорости ветра в зоне  $T_1$  не превышает (1...3)%. Характеристики ветра соответствуют его характеристикам в точке размещения объекта:  $v^\lambda(x, y)|_{x,y \in T_1} = v^\lambda(x_1, y_1)$ , где  $v^\lambda$  – скорость ветра в направлении  $\lambda$ .

Учет указанных допущений позволяет использовать для определения концентрационного поля загрязняющей примеси (аэрозольные выбросы пожара) в области  $\Omega$  математический аппарат теории атмосферной диффузии, моделирующей распространение примесей уравнением турбулентной диффузии с постоянными коэффициентами [6, 7].

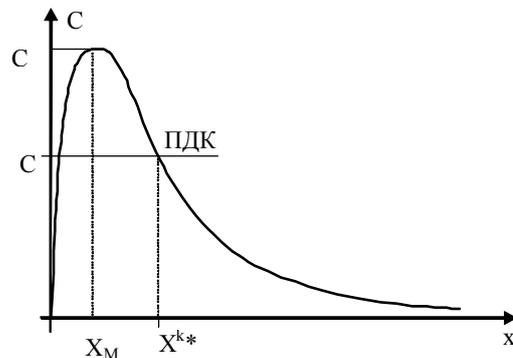


Рис. 4. Выбор метрических характеристик зоны загрязнения

Для определения геометрических параметров зоны загрязнения при наличии в области размещения рельефа, вызывающего изменение вектора скорости приземного ветра, используется модель рельефа в виде функции  $R(x, y) \cong \mathfrak{R}(x, y) \Big|_{(x, y) \in \Omega}$  [8] и модель определения скорости приземного ветра в любой точке области с учетом ее рельефа [9].

**6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗОНЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ (ОБЪЕКТ  $T_i$ )**

При наличии в области размещения  $\Omega$  рельефа  $R(x, y)$  значение  $r_i^k$  есть величина проекции на плоскость  $XOY$  отрезка кривой  $z = R(x, y)$  длиной  $X_M$  (или  $X^*$ ) в направлении  $\lambda$ .

Определим  $r_i^k, k = \overline{1,8}$ . Для этого зафиксируем значение индекса  $k$  и рассмотрим величину  $r_1^k$  (рис. 5).

Отрезок  $A_1A_2 = r_1^k$  на рис. 5 есть проекция на плоскость  $XOY$  отрезка  $A_1^*A_2^*$  кривой, полученной в результате пересечения поверхности рельефа вертикальной плоскостью  $P$ , проходящей через точку  $A_1(x_1, y_1)$  в направлении  $\lambda$ .

Длина  $L^*$  кривой  $A_1^*A_2^*$  равна  $X_M$  (или  $X^*$ ). Для определенности будем считать, что  $L^* = X_M$ . Уравнение прямой, проходящей через точку  $A_1(x_1, y_1)$  в направлении  $\lambda$  имеет вид:

$$y = y_1 + k(x - x_1) = \frac{v_y(x_1, y_1)}{v_x(x_1, y_1)}x + y_1 - \frac{v_y(x_1, y_1)}{v_x(x_1, y_1)}x_1 = f_1(x),$$

где угловой коэффициент  $k = \operatorname{tg} \alpha = \frac{v_y(x_1, y_1)}{v_x(x_1, y_1)}$ .

Функцию рельефа  $R(x, y)$  на прямой, проходящей через точку  $A_1(x_1, y_1)$  в направлении  $\lambda$ , можно представить как  $R(x, y) \Big|_{\lambda} = R[x, f_1(x)] = R_1(x)$ .

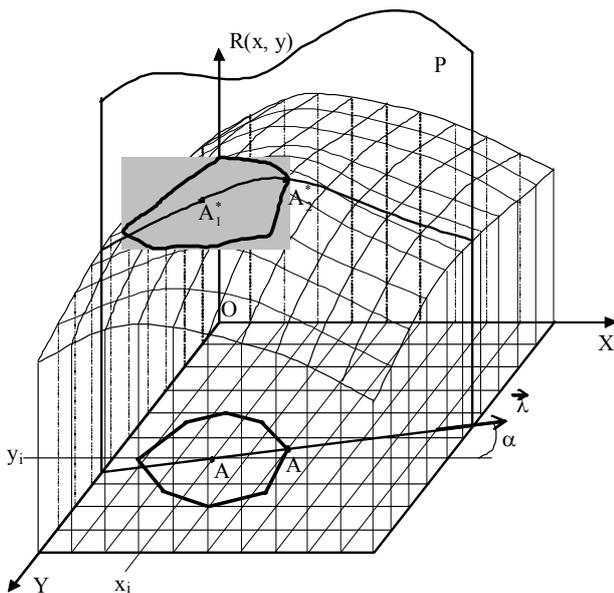


Рис. 5. Определение величины  $r_1^k$

В этом случае длина  $L^*$  кривой  $A_1^*A_2^*$  определяется по формуле:

$$L^* = \int_{x_1}^{x_2} \sqrt{1 + [R_1'(x)]^2} dx, \tag{6}$$

где неизвестный верхний предел интегрирования  $x_2$  определяется из условия

$$L^* = \int_{x_1}^{x_2} \sqrt{1 + [R_1'(x)]^2} dx = X_M. \tag{7}$$

Интеграл (6) вычисляется любым численным методом.

Ордината  $y_2$  точки  $A_2$  определяется по формуле:

$$y_2 = \frac{v_y(x_1, y_1)}{v_x(x_1, y_1)}x_2 + y_1 - \frac{v_y(x_1, y_1)}{v_x(x_1, y_1)}x_1.$$

Длина отрезка  $A_1A_2 = r_1^k$  находится как

$$r_1^k = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}.$$

Приведенные рассуждения справедливы для всех значений индекса  $k \in \{1, 2, \dots, 8\}$ , соответствующих 8-ми направлениям возмущенного приземного ветра, согласованным с розой ветров рассматриваемой области. Так как скорость и направление возмущенного приземного ветра есть функция координат текущей точки области, в которую помещается полюс  $T_i$ , следовательно, изменение положения объекта  $S_i$  (и связанной с ним зоны  $T_i$ ) вызовет изменение метрических характеристик и формы  $T_i$ .

Выше сказанное позволяет рассматривать задачу (1) оптимального размещения пожароопасных объектов как задачу нерегулярного размещения геометрических объектов с изменяемыми метрическими характеристиками и пространственной формой в ограниченной многосвязной области при заданной системе ограничений.

**7. ФОРМАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ОГРАНИЧЕНИЙ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ (1)**

Задача допускает различные трактовки относительно вида функции цели, однако общим для этого класса задач является то, что область допустимых решений  $D$  формируется системой ограничений, которая включает геометрические ограничения на параметры размещения объектов  $T_i$  и физические ограничения на характеристики результирующего поля приземных концентраций аэрозольных выбросов пожара в области  $\Omega$ . Кроме того, система ограничений может содержать дополнительные (технологические) условия.

Геометрические ограничения на размещение пожароопасных объектов в области  $\Omega$  включают в себя условия принадлежности объектов области (8) и условия их попарного взаимного непересечения (9), а также усло-

вия взаимного расположения объектов  $T_i$  и неподвижных областей запрета  $\Omega_c$  (10) – экологически значимых зон, размещение в которых объектов  $S_i$  не допускается:

$$\Phi_{i0}(x_p, y_p, m_0) \geq 0, \quad (8)$$

$$\Phi_{ij}(x_p, y_p, x_j, y_j) \geq 0, \quad (9)$$

$$\Phi_{ic}(x_p, y_p, x_c, y_c) \geq 0, \quad c = \overline{1, C}, \quad i, j = \overline{1, N}, \quad i \neq j, \quad (10)$$

где  $\Phi_{i0}(x_p, y_p, m_0)$  – Ф-функция [10, 11] объекта  $T_i$  с изменяемыми метрическими характеристиками и области  $\overline{\Omega} = cl(R^2 \setminus \Omega)$ ,  $m_0$  – метрические характеристики области  $\Omega$ ;  $\Phi_{ij}(x_p, y_p, x_j, y_j)$  – Ф-функция объектов  $T_i$  и  $T_j$  с изменяемыми метрическими характеристиками;  $\Phi_{ic}(x_p, y_p, x_c, y_c)$  – Ф-функция объекта  $T_i$  и области запрета  $\Omega_c$ .

Для некоторых практических задач условие (8) заменяется условием принадлежности объектов  $S_i$  области размещения  $\Omega: (x_p, y_p) \in \Omega, \quad i = \overline{1, N}$ .

Физические ограничения в общем случае представляются в виде системы неравенств

$$D_\delta C(x, y, u, G, Q)|_\Omega < (>) C_\delta,$$

где  $D_\delta$  – заданный оператор;  $C_\delta$  – заданная функция,  $\delta = \overline{1, \Delta}$ .

В задаче (5.11) физическим ограничением на характер поля приземных концентраций аэрозольных выбросов пожаров является условие:

$$C(x, y, u, G, Q)|_{(x,y) \in P} + C_\phi \leq \text{ПДК}, \quad (11)$$

где  $C$  – концентрации загрязняющих выбросов от  $N$  источников в системе точек контроля;  $C_\phi$  – фоновая концентрация.

Технологические ограничения, накладываемые на размещение пожароопасных объектов в области  $\Omega$ , представляются, как правило, набором максимальных (минимальных) допустимых расстояний  $L_{i\mu}^*$  между размещаемыми объектами и транспортной сетью, инженерными коммуникациями, другими объектами и пр.:

$$L_{i\mu} \geq (\leq) L_{i\mu}^*, \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad \mu = 1, 2, \dots, M. \quad (12)$$

Отметим основные свойства оптимизационной задачи (1):

– пространство параметров, в котором определяется экстремум функции цели задачи, имеет размерность  $2N$ , где  $N$  – число размещаемых пожароопасных объектов:

$$D \subset R^{2N},$$

– число ограничений  $\aleph$ , описывающих область  $D$  допустимых решений задачи, квадратично зависит от числа размещаемых пожароопасных объектов:

$$\aleph = O\{1,5\psi N + 8N(N-1) + 8N \cdot C \cdot \ell + \Delta\},$$

где  $\ell = \max_{c=1, C} \varpi_c$ ,  $\varpi_c$  – число вершин зоны запрета

$\Omega_c(a_c, b_c)$ ,  $D$  – количество ограничений на результирующее концентрационное поле.

Формализация геометрических ограничений (8)–(10) задачи выполняется на основе аппарата Ф-функций с учетом особенностей влияния физического поля [18, 58], аналитическое описание физических ограничений (11) базируется на результатах параметризации концентрационного поля в области  $\Omega$  [5].

## 8. МЕТОД РЕШЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ РАЗМЕЩЕНИЯ ПОЖАРООПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ В ОБЛАСТИ С УЧЕТОМ ЕЕ РЕЛЬЕФА

Из-за сложности оптимизационной задачи (1), (8)–(12) не приходится рассчитывать на возможность получения точного решения. Поэтому предлагается метод поиска рациональных решений и их перебор, в результате которого определяется приближенное значение локального экстремума функции цели. Предлагаемый метод состоит из следующих основных этапов:

- определение начального варианта размещения пожароопасных объектов  $S_i, \quad i = \overline{1, N}$  в области  $\Omega$ . Данная задача формулируется и решается как задача поиска допустимого размещения многоугольных объектов  $T_i$  с изменяемыми метрическими характеристиками;
- поиск вектора  $u^*$ , соответствующего локальному минимуму функции цели

$$F(u) = \max_{(x_\zeta^p, y_\zeta^p) \in P} \sum_{i=1}^N C(x_\zeta^p, y_\zeta^p, x_i, y_i, G, Q).$$

Локальный минимум определяется на основе комбинации методов минимизации по группам переменных и градиентного метода.

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

## ВЫВОДЫ

Таким образом, в работе проведены построение и анализ оптимизационной математической модели размещения пожароопасных объектов, являющихся в случае пожара источниками загрязняющих аэрозольных выбросов, с учетом рельефа области размещения. Исследована система ограничений задачи. На основе анализа особенностей оптимизационной задачи разработан метод поиска локального минимума функции цели, состоящий из трех этапов. Разработанная математическая модель, метод и созданное на их основе алгоритмическое и программное обеспечение может использоваться в системах автоматизированного проектирования генеральных планов и планов реконструкции промышленных предприятий с пожароопасными объектами.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Микеев, А. К. Пожар. Социальные, экономические, экологические проблемы / А. К. Микеев. – М. : Пожнаука, 1994. – 368 с.

2. *Исаева, Л. К.* Экология пожаров, техногенных и природных катастроф / Л.К. Исаева. – М. : Академия ГПС МВД России, 2000. – 301 с.
3. *Чуб, И. А.* Моделирование размещения пожароопасных объектов с учетом опасных факторов возможного пожара / И. А. Чуб, Е. В. Морщ // Проблемы пожарной безопасности. – 2004. – Вып. 15. – С. 224–227.
4. *Морщ, Е. В.* Оптимизация размещения пожароопасных объектов на территории промышленного предприятия / Е. В. Морщ // Проблемы пожарной безопасности. – 2005. – Вып. 17. – С. 125–129.
5. *Чуб, И. А.* Параметризация концентрационного поля аэрозольных выбросов пожара / И. А. Чуб, Е. В. Морщ // Проблемы пожарной безопасности. – 2003. – Вып. 13. – С. 159–162.
6. *Берлянд, М. Е.* Атмосферная диффузия и загрязнение воздуха / М.Е. Берлянд. – Л. : Гидрометеиздат. – 1987. – 361 с.
7. *Берлянд, М. Е.* Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы / М. Е. Берлянд. – Л. : Гидрометеиздат. – 1985. – 271 с.
8. *Абрамов, Ю. А.* Формирование априорной информации для систем ликвидации последствий чрезвычайной ситуации / Ю. А. Абрамов, А. А. Тарасенко // Проблемы надзвичайних ситуацій. – 2007. – Вип. 6. – С. 11–22.
9. *Абрамов, Ю. А.* Математическая модель локальных воздушных течений над поверхностью рельефа / Ю. А. Абрамов, А. А. Тарасенко // Науковий вісник будівництва. – 2008. – Вип. 45. – С. 132–139.
10. *Стоян, Ю. Г.* Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования / Ю. Г. Стоян, С. В. Яковлев. – К. : Наукова думка, 1986. – 268 с.
11. *Чуб, И. А.* Построение Ф-функции объектов с изменяемыми метрическими характеристиками и пространственной формой / И. А. Чуб, М. В. Новожилова // Моделювання та інформаційні технології. – 2003. – Вип. 22. – С. 229–234.

Стаття надійшла до редакції 29.01.2013.

Чуб І. А.

Д-р техн. наук, доцент, Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

#### **МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОПТИМІЗАЦІЙНОЇ ЗАДАЧІ РОЗМІЩЕННЯ ПОЖЕЖОНЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ З УРАХУВАННЯМ РЕЛЬЄФУ ОБЛАСТІ РОЗМІЩЕННЯ**

Проведено побудова та аналіз оптимізаційної математичної моделі розміщення пожежонебезпечних об'єктів, що є у випадку пожежі джерелами забруднюючих аерозольних викидів, з урахуванням рельєфу області розміщення. Розглянута задача зводиться до оптимізаційної задачі розміщення багатокутних об'єктів із змінними метричними характеристиками і просторовою формою.

**Ключові слова:** оптимізація, розміщення пожежонебезпечних об'єктів, рельєф області.

Chub I. A.

Ph. D., Associate Professor, National University of Civil Defense of Ukraine, Kharkov, Ukraine

#### **MODELING AND SOLVING THE OPTIMIZATION PROBLEM OF PLACING FLAMMABLE OBJECTS BASED ON THE PLACEMENT REGION TOPOGRAPHY**

Carried out the construction and analysis of the optimization mathematical model of placing flammable objects, which in case of fire are the sources of pollution aerosol emissions, taking into account the topography of the placement region. The problem reduces to the optimization problem of placing polygonal objects with variable metric characteristics and spatial form. A system of constraints of the problem was studied. Based on the analysis of the features of the optimization problem a method of searching for a local minimum of the objective function, which consists of three stages, was developed.

**Keywords:** optimization, placement of flammable objects, topography of the placing region.

#### **REFERENCES**

1. Mikeev A. K. Pozhar. Social'nye, jekonomicheskie, jekologicheskie problemy. Moscow, Pozhnauka, 1994, 368 p.
2. Isaeva L. K. Jekologija pozharov, tehnogennyh i prirodnyh katastrof. Moscow, Akademija GPS MVD Rossii, 2000, 301 p.
3. Chub I. A., Morshh E. V. Modelirovanie razmeshhenija pozharoopasnyh ob'ektov s uchetom opasnyh faktorov vozmozhnogo pozhara, *Problemy pozharnoj bezopasnosti*, 2004, Vyp. 15, pp. 224–227.
4. Morshh E. V. Optimizacija razmeshhenija pozharoopasnyh ob'ektov na territorii promyshlennogo predpriyatija, *Problemy pozharnoj bezopasnosti*, 2005, Vyp. 17, pp. 125–129.
5. Chub I. A., Morshh E. V. Parametrizacija koncentracionnogo polja ajerozol'nyh vybrosov pozhara, *Problemy pozharnoj bezopasnosti*, 2003, Vyp. 13, pp. 159–162.
6. Berljand M. E. Atmosfernaja diffuzija i zagrjaznenie vozduha, Leningrad, Gidrometeoizdat, 1987, 361 p.
7. Berljand M. E. Prognoz i regulirovanie zagrjaznenija atmosfery, Leningrad, Gidrometeoizdat, 1985, 271 p.
8. Abramov Ju. A., Tarasenko A. A. Formirovanie apriornoj informacii dlja sistem likvidacii posledstvij chrezvychajnoj situacii, *Problemi nadzvichajnih situacij*, 2007, Vip. 6, pp. 11–22.
9. Abramov Ju. A., Tarasenko A. A. Matematicheskaja model' lokal'nyh vozdušnyh techenij nad poverhnost'ju rel'efa, *Naukovij visnik budivnictva*, 2008, Vip. 45. pp. 132–139.
10. Stojan Ju. G., Jakovlev S. V. Matematicheskie modeli i optimizacionnye metody geometricheskogo proektirovanija. Kiev, Naukova dumka, 1986, 268 p.
11. Chub I. A., Novozhilova M. V. Postroenie F-funkcii ob'ektov s izmenjaemyimi metricheskimi harakteristikami i prostranstvennoj formoj. *Modeljuvannja ta informacijni tehnologii*, 2003, Vip. 22, pp. 229–234.