

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,  $\Phi$ -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  $\Phi$ -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  $\Omega$  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  $\Omega$  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  $\Omega$ . 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  $\Omega$ . 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  $\Omega$ , формализованные с использованием  $\Phi$ -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  $\Omega$ :

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

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

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  $\Gamma$  области  $\Omega$ ;  $C_{\phi}$  – фоновая концентрация.

Формализация геометрических ограничений (2) – (4) с использованием  $\Phi$ -функций проведена в работе [4], там же изложен метод построения  $\Phi$ -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  $\Omega$ .** 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  $\Omega_1$  размещения объекта  $R_1$ .* Поскольку на этом этапе в области  $\Omega$  отсутствуют другие размещаемые объекты, то система ограничений будет включать в себя условия (3) – (5);

- *определение параметров размещения объекта  $R_1$  в области  $\Omega_1$ .* Объект  $R_1$  размещается таким образом, чтобы максимальное значение поля концентраций продуктов горения на границе  $\Gamma$  области  $\Omega$  было минимальным. Геометрически это означает, что первый объект помещается в точку, максимально удаленную от границы области  $\Omega$ ;

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

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

- розміщення об'єкта  $R_i$  в допустимій області  $\Omega_i$ ,  $i = 2, \dots, N$ . Розміщення об'єкта  $R_i$  в допустимій області  $\Omega_i$  происходит аналогічно розміщенню об'єкта  $R_1$  в області  $\Omega_1$ , но система обмежень состоить из умовий (2) – (5);

- *определение вектора  $Z_0$  начального размещения объектов в области  $\Omega$* . После размещения всех объектов формируется вектор  $Z_0$ .

**Определение локального минимума функции цели F.** Для поиска минимума используем схему метода минимизации по группам переменных. Переменные представляют собой координаты полюса размещаемого объекта  $T_i$ . Выбор объекта, начинающего движение первым, осуществляется, исходя из наибольшего возрастания целевой функции в зависимости от параметров его размещения при фиксированном положении остальных объектов. Направление сдвига объекта  $T_k$  совпадает с антиградиентом целевой функции по параметрам его размещения:

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

где  $z_i^{p+1}$  и  $z_i^p$  – параметры размещения объекта  $T_i$  на  $(p+1)$ -й и  $p$ -й итерациях;  $\alpha_i^p$  – величина шага сдвига;  $g_i^p$  – градиент функции цели по параметрам размещения объекта  $T_i$ .

Выбор такого метода решения, являющегося модификацией метода Гаусса-Зейделя, обусловлен особенностями данной задачи и позволяет получить достаточно хорошее приближение к локальному минимуму.

**Перебор локальных минимумов функции цели F.** Поиск локального минимума функции цели выполняется для нескольких вариантов начального размещения объектов  $T_i$  в области с последующим определением наилучшего значения функции цели и соответствующего ему вектора  $Z^*$  координат полюсов пожароопасных объектов. Количество перебираемых локальных минимумов определяется лицом, принимающим решение, исходя из условий и ограничений конкретной задачи.

**Практическая реализация метода**

Оптимизация размещения пожароопасных объектов в заданной области с учетом рельефа местности, выполненная предлагаемым методом, показана на примере реконструкции газоперерабатывающего завода (Черниговская область).

**Подготовка исходных данных.** Общая площадь предприятия составляет около 100 га, максимальные размеры в плане – 1400 м × 1000 м (рис. 1). При проведении реконструкции было принято решение о строительстве на территории предприятия

двух дополнительных резервуарных парков для хранения бензина и мазута. Размещаемые объекты – 2 резервуарных парка из 3 наземных вертикальных стальных резервуаров емкостью по 400м<sup>3</sup> (РВС-400). Горение происходит только в одном из трех резервуаров парка.

Для определения геометрических параметров зоны загрязнения при наличии в области размещения рельефа, вызывающего деформацию скорости приземного ветра, была построена модель рельефа области размещения. Информация о рельефе взята из топографической карты района расположения реконструируемого предприятия с масштабом 1:5000 (рис. 1). Методом, описанным в работе [5], на основе этой информации получена модель рельефа области размещения в виде всюду гладкой функции  $z = \mathfrak{R}(x, y)$ .

График функции представлен на рис. 2.

Модель для определения скорости приземного ветра в любой точке области была построена методом, изложенным в [6], с использованием найденной функции рельефа.

На основе информации о скорости и направлении возмущенного приземного ветра в заданной точке области размещения методом, изложенном в работе [3], были найдены метрические характеристики  $g_i$ , ( $i=1, \dots, 8$ ) восьмиугольной зоны загрязнения  $T_i$ .

*Технологические ограничения:*

- резервуарные парки должны размещаться не далее 200 м от подъездных железнодорожных путей:

$$L_1 \leq 200 \text{ м}; \tag{6}$$

- резервуарные парки должны размещаться не ближе 100 м от зданий и сооружений предприятия:

$$L_2 \geq 100 \text{ м}. \tag{7}$$

**Задача оптимизации** размещения на территории предприятия двух пожароопасных объектов (резервуарные парки хранения бензинов и мазута) формулируется следующим образом:

*определить возможное местоположение пожароопасных объектов  $S_i$  ( $i = 1, 2$ ) в области  $\Omega$ , чтобы максимальная суммарная концентрация аэрозольных выбросов возможных пожаров в конечном множестве точек контроля  $P$  была минимальной: т.е. найти*

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

Область допустимых решений  $W$  задачи (8) формировалась ограничениями (2) – (4) и (6) – (7). Допустимая область  $\Omega_1$  размещения формируется ограничениями (4), (6), (7). Она представляет собой многосвязное множество, состоящее из трех компонент связности  $\Omega_1^1, \Omega_1^2, \Omega_1^3$  с кусочно-линейными границами  $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3$ .

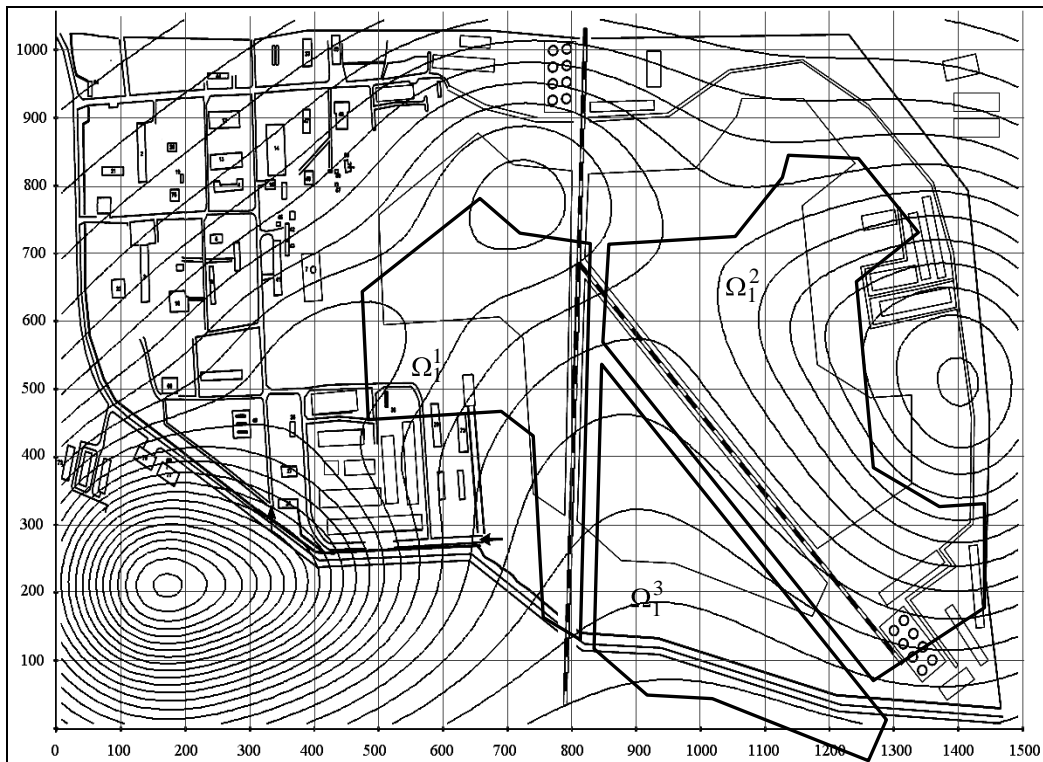


Рис. 1. Топография территории ГПЗ (межгоризонтальное расстояние – 1 м)

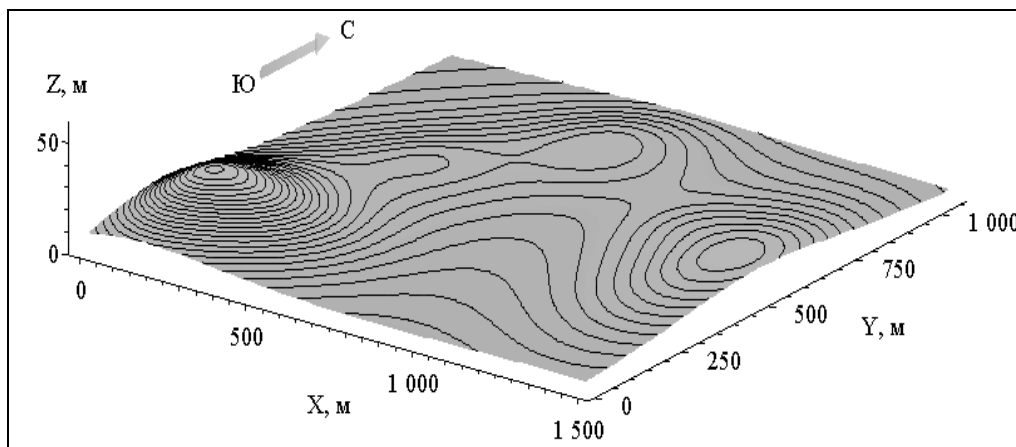


Рис. 2. График поверхности рельефа территории ГПЗ

Результат построения области  $\Omega_1$  показан на рис. 1.

Границы  $\Gamma_i$  задавались координатами вершин, упорядоченными по часовой стрелке в системе координат, связанной с областью  $\Omega$  (табл. 1).

Таблица 1  
Координаты вершин границ  $\Gamma_i$

№	$\Omega_1^1$		$\Omega_1^2$		$\Omega_1^3$	
	x, м	y, м	x, м	y, м	x, м	y, м
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
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  $\Omega_1$  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  $\Omega_1$ . В каждом варианте расчеты производились для десяти точек начального размещения пожароопасных объектов  $S_1$  и  $S_2$  в компонентах связности области  $\Omega_1$  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
<b>3-3</b>	<b>1000</b>	<b>255</b>	<b>1015</b>	<b>450</b>	<b>1.08</b>
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.