

УДК 004.722:681.5.01

С.В. Куценко

Академия пожарной безопасности им. Героев Чернобыля, Черкассы

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ Ф-МЕТОДА ПРИ РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМ ПОЖАРНОЙ АВТОМАТИКИ

*Предложено использование Ф-метода при разработке систем пожарной автоматики. Разработан алгоритм применения Ф-метода в решении задач размещения пожарных извещателей на потолке. Разработан программный продукт, который подтвердил применимость Ф-метода в задачах размещения пожарных извещателей.*

**Ключевые слова:** задача покрытия и размещения, Ф-метод, пожарные извещатели.

### Введение

При разработке различных систем пожарной автоматики одной из типичных задач является задача оптимального размещения элементов противопожарной безопасности: размещение элементов обнаружения возгорания (потолочные или настенные извещатели), элементов тушения пожаров и т.д. Для некоторых типичных случаев, например, размещение извещателей на потолке – эта задача не представляет сложностей и необходимые расчетные соотношения для ее выполнения представлены в специализированных источниках [1].

Однако, не редко возникает задача размещения элементов как обнаружения, так и тушения пожаров на сложном участке – сложных профилей или с наличием множества преград. Для решения таких задач предложенные решения не являются оптимальными и требуют дальнейшего исследования.

**Анализ последних достижений и публикаций.** В задачах размещения элементов пожарной безопасности наиболее часто встречаемой задачей является размещение первичных преобразователей пожарных сигнализаций (ПППС) – тепловых, дымовых, ионизационных, пламени и тому подобное. Для ее решения чаще всего используют несколько методов размещения: прямоугольное, треугольное, секционно-регулярное покрытие, размещение в помещениях произвольной формы. При этом определение размеров и параметров размещения четко определено нормами [1]. Однако следует отметить, что определение этих параметров определяется только геометрическими размерами комнаты и не зависит, например, от местоположения опасных объектов в помещении. Согласно [2, 3], время срабатывания ПППС зависит от того, где находился преобразователь – прямо над объектом или в стороне. Поэтому решение задач оптимального размещения ПППС на потолке с учетом размещения опасных объектов в помещении может сократить время на определение пожара, а, значит, эффективнее проводить тушение пожаров (за счет раннего обнаружения возгорания).

В существующих моделях и методах размещения не предусмотрен учет дополнительных элементов, которые бы корректировали полученное решение. Проблема заключается в том, что при первоначальном размещении ПППС существенно изменяется первоначальное изображение зоны покрытия. Последующее применение любого из существующих методов приводит к значительным перерасходам (лишним ПППС) из-за возникшей картины нерегулярного покрытия. Таким образом, ни одно из решений не является оптимальным и требуется разработать новый метод размещения элементов пожарной автоматики (ПА).

При этом выдвигаются следующие требования к разрабатываемому методу:

- необходимость учета граничных размеров помещения произвольной формы;
- возможность учета сторонних объектов внутри исследуемой зоны;
- учет приоритетности установки элементов ПА (над опасными объектами), что приводит к искажению первоначальной зоны покрытия за счет учета зоны уже размещенных в модели ПППС.

Проведенный авторами анализ существующих методов решения задач покрытия и размещения показал, что оптимальным для решения указанной задачи является использование Ф-метода в качестве меры близости объектов, который позволяет производить поэтапное размещение ПППС с учетом всех указанных ограничений и усложнений зоны покрытия.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью работы является разработка метода оптимального размещения элементов противопожарной безопасности в системах пожарной профилактики на основе использования в качестве меры близости объектов Ф-метода. Решение задачи осуществлялось путем приведения аналитических выражений к особенностям предметной области исследования (для систем пожарной автоматики), разработки соответствующего программного обеспечения и сравнении разработанного метода с известными.

### Основной раздел

В результате первоначального размещения ПППС над опасными объектами, что соответствует удалением из покрываемой зоны территорий, которые контролируются размещенными ПППС, получаем территорию сложной формы, которую необходимо покрыть кругами площадями  $S$  с радиусом  $r$ .

В общем случае при перекрытии зоны двумя кругами  $C_1$  и  $C_2$  с радиусами  $r_1$  и  $r_2$   $\Phi$ -функция кругов будет иметь вид [1]:

$$\Phi_{12}(x_1, y_1, x_2, y_2) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} - r_1 - r_2. \quad (1)$$

Значения функций  $\Phi_{12}(x_1, y_1, x_2, y_2)$  равны кратчайшим расстояниям между кругами  $C_1(x_1, y_1)$  и  $C_2(x_2, y_2)$  в случае, если

$$C_1(x_1, y_1) \cap C_2(x_2, y_2) = \emptyset.$$

В случае размещения однотипных ПППС радиусы  $r_1$  и  $r_2$  будут равны. Тогда формула (1) преобразуется к виду:

$$\Phi_e(x_1, y_1, x_2, y_2) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} - 2r. \quad (2)$$

Для решения задачи покрытия используем следующие соотношения:

$$\Phi_{ij}(x_i, y_i, x_j, y_j) \geq \Phi_e - \zeta,$$

$$d(O_i, O_j) \leq 2r,$$

$$\zeta = -r/8; \quad i, j = 1, 2, \dots, n.$$

где  $\Phi_e(x_1, y_1, x_2, y_2)$  – функция, которая определяет эталонную меру близости;

$\Phi_{ij}(x_i, y_i, x_j, y_j)$  – функция, которая определяет меру близости между  $i$ -ым и  $j$ -ым кругами;

$d(O_i, O_j) \leq 2r$  – эвклидово расстояние между центрами  $i$ -го и  $j$ -го кругов;

$\zeta$  – допустимая ошибка.

При использовании данного метода решается вопрос нахождения множества точек допустимого расположения центров последующих кругов, покрывающих объект, относительно предыдущих, и определение значений функции цели.

Для определения множества допустимых точек необходимо сформулировать правила их нахождения. Правила для размещения следующих покрывающих кругов должны учитывать следующие замечания:

- площадь покрытия области каждым из кругов должна быть максимальной;
- значение  $\Phi$ -функции должно быть максимальным.

Определим правило нахождения следующего покрывающего круга. Рассмотрим пересечение двух кругов  $T_i, T_j$  (рис. 1).

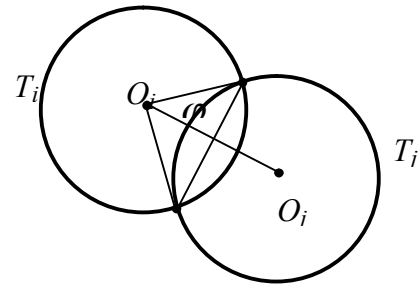


Рис. 1. Изображение пересечения двух кругов

Пусть  $p_{11} \in \text{fr}T_i \cap \text{fr}T_j$ . Для нахождения точки размещения центра  $O_k$  следующего круга  $T_k$  такого, что функция цели достигает в этой точке своего минимума, необходимо провести биссектрису угла  $\phi$ , образованного касательными к кругам  $T_i, T_j$  ( $p_{11}$ ).

На данной биссектрисе на расстоянии  $R$  от точки  $p_{11}$  будет находиться искомая точка  $O_k$ .

Рассмотрим пошагово алгоритм решения задачи с использованием  $\Phi$ -функции.

**Шаг 1.** Размещаем реперные точки:

$$A = a; \quad B = b; \quad N_1 = 0; \quad i = 0; \quad X_i = X;$$

$$Y_i = Y; \quad i = 0 \dots N; \quad N_1 = N_1 + 1;$$

где  $N$  – количество реперных точек,

$N_1$  – общее количество кругов,

$X_i$  – абсцисса объекта покрытия,

$Y_i$  – ордината объекта покрытия;

$A, B$  – длина и ширина объекта покрытия;

$X, Y$  – координаты реперных точек.

**Шаг 2.** Размещаем следующий объект таким образом, чтобы выполнялось:

$$X_{N+1} = X_i + 1.25 \cdot r, \quad Y_{N+1} = Y_i + 1.25 \cdot r,$$

$$X_{N+1} \leq A, \quad Y_{N+1} \leq B, \quad i = 1 \dots N;$$

где  $X_{N+1}$  – следующая после реперных абсцисса покрывающего объекта;

$Y_{N+1}$  – следующая после реперных ордината покрывающего объекта.

**Шаг 3.** Ищем такие  $O_i$  и  $O_j$ , для которых выполняется:

$$d = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \leq 2r,$$

где  $d$  – эвклидово расстояние между  $O_i$  и  $O_j$ ,

Вычисляем  $\Phi$ -функцию по формуле (2).

Находим следующий покрывающий объект  $O_k$ .

Вводим:

$$N_1 = N_1 + 1; \quad X_{N_1} = X_k; \quad Y_{N_1} = Y_k;$$

$$0 \leq X_k \leq A; \quad 0 \leq Y_k \leq A.$$

**Шаг 4.** Проверяем, остались ли такие  $(x, y)$ , для которых:

$$d = \sqrt{(x_k - x)^2 + (y_k - y)^2} < r,$$

где  $(x_k, y_k)$  – координаты объекта покрытия,  $k = 1 \dots N_1$ .

Если да, то:

$$\zeta = \zeta + \Delta,$$

где  $\Delta$  – некоторое заданное число, переходим к шагу 3. Если нет – переходим к шагу 5.

**Шаг 5.** Завершаем алгоритм.

Таким образом, в конце выполнения алгоритма получается дискретное пространство, в точках которого находятся ПППС.

Для программная реализация предложенного алгоритма была разработана программа с использованием языка программирования C++. Начальное

окно показано на рис. 2, а. Данная программа позволяет задавать размеры комнаты, а также радиус зоны покрытия одного ПППС. При этом есть возможность выбора режима работы: или по традиционной схеме (прямоугольное – рис. 2, б) или по разработанному в работе алгоритму (рис. 2, в, г).

В результате работы программы подсчитывает количество ПППС, которые необходимы для покрытия всей площади, а также выдает значения координат каждого ПППС.

В примере на рис. 2, в показан случай расстановки 5 начальных точек в прямоугольном помещении 40 x 40 метров с зоной покрытия одного ПППС кругом с радиусом 4 м.

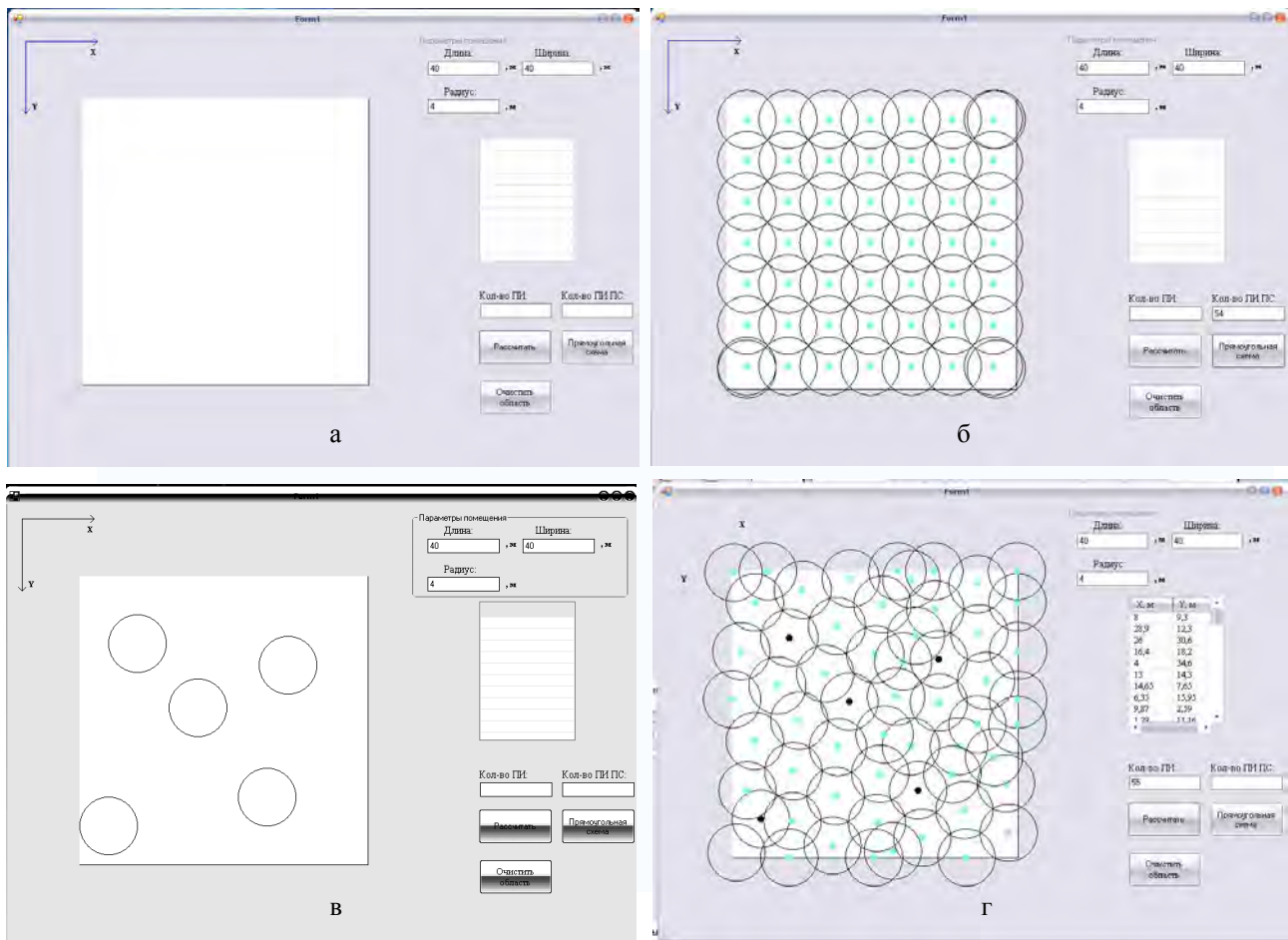


Рис. 2. Окна программы размещения первичных преобразователей пожарных сигнализаций

На рис. 2, г показана реализация разработанного алгоритма – заполнение оставшейся неконтролируемой области с помощью секционного регулярного покрытия [1]. При этом, как видно из рис. 2, программа подсчитала количество ПППС и выдала значения всех их координат.

Из рис. 2, б и 2, г следует, что использование предложенного метода увеличило количество ПППС на одну единицу (54 по сравнению с 55), что вполне оправдано с точки зрения раннего срабаты-

вания пожара (за счет расположения начальных ПППС над очагами возможного возгорания).

Проведенные расчеты с использованием математических соотношений скорости распространения пожара [2, 3] показали (табл. 1), что предложенное первоначальное размещение первичных преобразователей пожарных сигнализаций с использованием реперных точек (т.е. мест над очагами возможного возгорания) позволяет уменьшить время обнаружения факта возгорания до 40 % [4].

Таблиця 1

Расчет времени обнаружения пожара (радиус зоны охвата ПППС равняется 4 м)

Принцип размещения ПППС	Размер помещения, м	Количество ПППС	Время срабатывания ПППС, с (при пожаре над реперными точками)
Традиционный	40 x 40	54	7,3-11,1
Разработанный (5 репер. точек)		55	5,2
Традиционный	40 x 50	61	7,8-10,7
Разработанный (4 реперные точки)		63	5,2

## Выводы

Предложенное использование Ф-метода в качестве меры близости двух объектов может быть применимо при решении задач разработки систем пожарной автоматики.

Использование первоначального расположения извещателей над возможными очагами возгорания с последующим заполнением оставшейся зоны с применением Ф-метода позволяет сократить время на определение факта возгорания до 40 % при незначительном увеличении числа извещателей (до 2-3 %).

Для проверки работоспособности предложенного алгоритма была разработана (с использованием языка C++) и протестирована программа, которая подтвердила применимость Ф-метода в задачах размещения пожарных извещателей.

## Список литературы

1. ДБН В.2.5.-56:2010 "Інженерне обладнання будинків і споруд. Системи протипожежного захисту".

2. Деревянко А.А. Применение и эксплуатация приборов пожарной автоматики: Практик. пособие / А.А. Деревянко, А.А. Антошкин, С.Н. Бондаренко, М.Н. Мушин. – Х.: УГЗУ, 2007. – 205 с.

3. Шаровар Ф.И. Методы раннего обнаружения загораний / Ф.И. Шаровар. – М.: Стройиздат, 1988. – 337 с.

4. Шаровар Ф.И. Принципы построения устройств и систем автоматической пожарной сигнализации / Ф.И. Шаровар. – М.: Стройиздат, 1983. – 335 с.

5. Куценко С.В. Модели, методы и компоненты для компьютерных систем пожарных сигнализаций на базе технологии ZigBee: Дис. ... канд. техн. наук: 05.13.05. – Черкаси, 2011. – 178 с.

Поступила в редколлегию 22.10.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. М.П. Мусиенко, Черноморский государственный университет им. П. Могилы, Николаев.

## ВИКОРИСТАННЯ Ф-МЕТОДУ ПРИ РОЗРОБЦІ СИСТЕМ ПОЖЕЖНОЇ АВТОМАТИКИ

С.В. Куценко

Запропоновано використання Ф-методу при розробці систем пожежної автоматики. Розроблений алгоритм використання Ф-методу у вирішенні завдань розміщення пожежних сповіщувачів. Розроблений програмний продукт з використанням мови C++, яка підтвердила застосовність Ф-методу в завданнях розміщення пожежних сповіщувачів. Проведені дослідження довели, що реалізація запропонованого методу розміщення пожежних сповіщувачів дозволяє до 40 % скоротити час на визначення факту горіння при незначному збільшенні кількості сповіщувачів (до 2-3 %).

**Ключові слова:** завдання покриття і розміщення, Ф-метод, пожежні сповіщувачі.

## USE OF F-METHOD FOR DEVELOPING SYSTEMS FIRE AUTOMATION

S.V. Kutsenko

The proposed use of the F-method in the development of fire prevention. The algorithm of the F-method in the solution of problems placing smoke detectors on the ceiling. Developed software using C++, which confirmed the applicability of the method in the F-location problem of fire detectors. Studies have shown that the implementation of the proposed method of placing fire detectors allows up to 40% reduction in time for determining whether a fire with a slight increase in the number of detectors (2-3%).

**Keywords:** task of coverage and placing, F-method, fire izveschateli.