

---

## ПРИНЦИПЫ И ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ РАЗМЕЩЕНИЯ ДАТЧИКОВ ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

**Александр Землянский, Виталий Снитюк**

**Аннотация:** В статье рассмотрена проблема размещения датчиков пожарной сигнализации. Указаны особенности и недостатки современных методов размещения таких датчиков, связанные с ограниченностью учета факторов, которые влияют на процесс как их размещения, так и использования. Предложен комплексный подход к оптимизации размещения датчиков, учитывающий условия внешней среды и внутренние особенности помещений, а также экспертные заключения и их объективизацию.

**Ключевые слова:** Пожаротушение, нечеткая логика, принятие решений, оптимизация.

**ACM Classification Keywords:** I.2.1 Applications and Expert Systems

**Conference:** The paper is selected from XV<sup>th</sup> International Conference "Knowledge-Dialogue-Solution" KDS-2 2009, Kyiv, Ukraine, October, 2009.

---

### Введение

Ежегодно на Земле возникает около семи миллионов пожаров. Исходя из прогнозов, сделанных на основе пожарной статистики, в мире в течение следующего года может погибнуть на пожаре около 225 тыс. человек, 2 миллиона 250 тыс. человек получить увечья, и 4,5 миллиона человек - тяжелые ожоговые травмы. Основными направлениями обеспечения пожарной безопасности являются устранение условий возникновения пожара и минимизация его последствий. Одним из способов решения таких задач есть установка автоматических средств предупреждения о возникновении пожара.

В Украине средствами пожарной автоматики оборудовано 89,1% объектов. Адресными установками сигнализации оборудовано около 78% объектов. Техническое обслуживание проводится на 72,6% объектов. 17,2% установок выработали свой ресурс и подлежат замене. На 11,8% объектов установки пожарной сигнализации подлежат замене. В 39,1% случаев пожарная автоматика не сработала, что привело к значительным материальным потерям. Таким образом, существует устойчивая тенденция к росту количества пожаров и аварий, уровню их последствий. Одной из причин этого является низкая эффективность систем пожарной автоматики и, в частности, систем пожарной сигнализации.

Настоящая статья продолжает цикл работ об оптимизации процессов принятия решений при пожаротушении [Snytyuk, 2007], [Снитюк, 2007] и является инициальной работой по оптимальному размещению датчиков с использованием методов теории нечетких систем.

---

### Особенности размещения пожарной сигнализации, ее вероятностные характеристики

Рассмотрим один из подходов к оптимизации размещения датчиков пожарной сигнализации. На сегодня существуют традиционные способы их размещения. Согласно первому способу датчики размещаются по треугольной схеме (рис. 1), во втором случае датчики находятся в углах прямоугольника (рис. 2). Известны многочисленные исследования, результатом которых являются рекомендации по количеству датчиков того или иного типа, которые могут быть использованы в определенных помещениях, на самолетах, подводных лодках и т.п. В их основе лежат определение вероятностей:

- срабатывания датчика, если имеет место пожар;
- не срабатывания датчика, если пожара нет;
- срабатывания датчика, если пожара нет;
- несрабатывания датчика, если пожар есть.

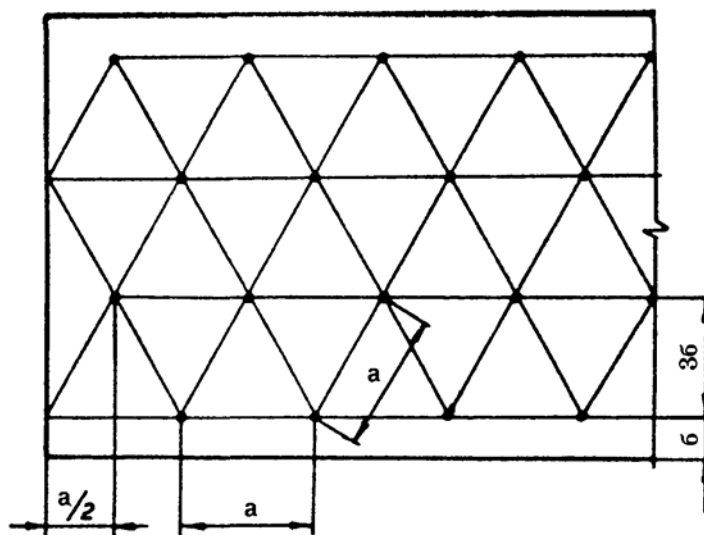


Рис. 1. Схема треугольного размещения датчиков

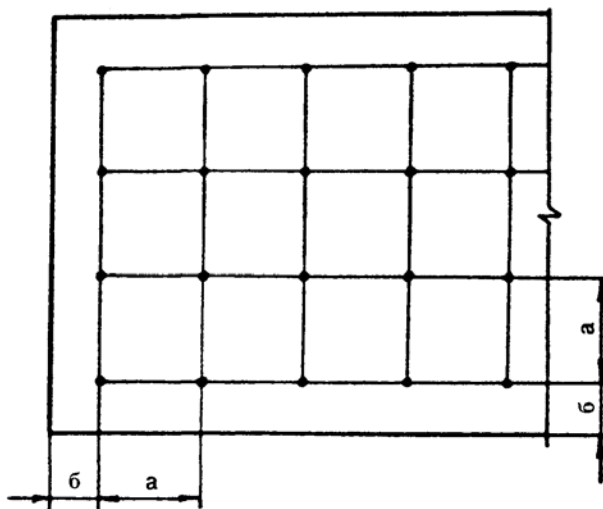


Рис. 2. Схема прямоугольного размещения датчиков

$a$  – расстояние между датчиками;  $б$  – расстояние от стенки к датчику

Исходя из значений указанных вероятностей, осуществляется установка дополнительных датчиков и таким образом осуществляется резервирование и повышается надежность правильного срабатывания пожарной сигнализации. Заметим, что такая практика имеет место на высокотехнологичных объектах, уже перечисленных кораблях, самолетах, атомных электростанциях. Вместе с тем, остается немало предприятий, объектов жилого сектора, где сигнализация устанавливается, исходя из схем (рис. 1 и рис. 2). При этом учитывается высота размещения датчиков (как правило, она имеет интервальное представление), и как следствие, площадь зоны, контролируемой датчиком. Значительная часть

помещения остается неконтролируемой, или датчики срабатывают, когда пожар достигает своей максимальной точки.

Таким образом, учитывая особенности и недостатки размещения датчиков пожарной сигнализации, предлагаются следующие принципы:

- при установке датчиков пожарной сигнализации ориентироваться на возможные человеческие жертвы ( $X_1$ ), величину материального ущерба ( $X_2$ ), а также возможные последствия техногенных и экологических катастроф ( $X_3$ ), вызванные несрабатыванием датчиков. Необходимо также учитывать убытки от их ложного срабатывания ( $X_4$ );
- для решения задачи оптимизации структуры системы пожарной сигнализации, необходимо разработать метод определения коэффициента, указывающего на величину опасности пожара на объекте,  $k = F(X_1, X_2, X_3, X_4)$ ;
- при превышении значения коэффициента  $k$  некоторой величины  $C > 0$  разработать технологию, позволяющую определить количество и структуру размещения датчиков пожарной сигнализации. Очевидно, что в таком случае, количество датчиков будет большим, чем рассмотрено в структуре на рис. 1 и рис. 2;
- при разработке структуры размещения датчиков базироваться на их технических характеристиках; результатах стендовых испытаний; особенностях помещений, где будут установлены датчики; экспертных заключениях.

Базируясь на предложенных принципах, для определения оптимальной структуры размещения датчиков пожарной сигнализации необходимо решить следующие задачи:

1. Осуществить идентификацию зависимости  $k = F(X_1, X_2, X_3, X_4)$ , исходя из экспертных заключений и системы нечетких продукционных правил:

$$\text{Если } X_1^i \in A_1^i, \text{ и } X_2^i \in A_2^i, \text{ и } X_3^i \in A_3^i, \text{ и } X_4^i \in A_4^i, \text{ то } k \in A^i, i = \overline{1, n},$$

где  $A_j^i$  – нечеткие множества со своими функциями принадлежности,  $n$  – количество экспертов.

2. Идентифицировать вероятность срабатывания датчика в зависимости от расстояния до очага возгорания и температуры горения:

$$\text{Если } d^i \in B_1^i \text{ и } T^i \in B_2^i, \text{ то } p \in P^i, i = \overline{1, n},$$

где  $d^i$  – расстояние от очага возгорания до датчика,  $B_1^i$  – соответствующее нечеткое множество,  $T^i$  – температура пламени,  $p$  – вероятность правильного срабатывания датчика.

3. Исходя из решений задач 1 и 2, определить оптимальную структуру размещения датчиков, используя нечеткие продукционные правила:

$$\text{Если } S_j^i \in C_j^i, \text{ и } p \in B_j^i, \text{ и } k \in A^i, \text{ то } Q \in R_j^i, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m},$$

где  $S_j^i$  –  $j$ -й вариант структуры, предложенный  $i$ -м экспертом,  $C_j^i$  – соответствующее нечеткое множество,  $Q$  – интегральный показатель, указывающий на оптимальность размещения датчиков,  $R_j^i$  – соответствующее нечеткое множество. Решение последней задачи и укажет на вариант структуры, являющийся оптимальным.

---

Необходимо заметить, что в приведенных задачах присутствует значительное количество нечетких продукционных правил, содержащих функции принадлежности, предложенные экспертами. Очевидно, что такие правила нередко имеют противоречивый характер. Их объективизация заключается в определении параметров функций принадлежности, исходя из значений, содержащихся в обучающих выборках, и решении задачи минимизации суммарной ошибки при равноправных заключениях, или минимизации взвешенной ошибки, в противном случае.

Для решения такой задачи возможно использование аппарата теории нечетких нейросетей или эволюционного моделирования. Последнее по ряду соображений представляется предпочтительным, хотя эксперименты остаются еще впереди.

---

### Заключение

Рассмотренные аспекты решения задачи оптимизации системы пожарного мониторинга в условиях неопределенности вызваны низкой вероятностью срабатывания датчиков пожарной сигнализации и соответствующими последствиями. Зависимость размещения датчиков от факторов внешней среды и внутренних особенностей объектов должна учитываться наряду с экспертными заключениями. Соответствующие технологии оптимизации структуры датчиков пожаротушения необходимо базировать на технологиях «мягких» вычислений, поскольку жестко заданные правила их размещения оказываются достаточно часто неэффективными.

---

### Благодарности

Работа опубликована при финансовой поддержке проекта **ITHEA XXI** Института информационных теорий и приложений FOI ITHEA Болгария [www.ithea.org](http://www.ithea.org) и Ассоциации создателей и пользователей интеллектуальных систем ADUIS Украина [www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua).

---

### Библиография

- [Snytyuk, 2007] Snytyuk V., Dghulay O. Evolutionary technique of shorter route determination of fire brigade following to fire place with the optimized space of search // Information Technologies and Knowledge. – 2007. – Vol. 1. – № 4. – Pp. 325-332.
- [Гнатиенко, 2008] Гнатиенко Г.Н., Снитюк В.Е. Экспертные технологии принятия решений. – Киев: Маклаут, 2008. – 444 с.
- [Снитюк, 2007] Снитюк В.Е., Быченко А.А. Эволюционное моделирование процесса распространения пожара // Bulgaria, Varna. Proc. XIII-th Int. Conf. Knowledge-dialogue-Solution”, 2007 (June). – Pp. 247-254.
- [Снитюк, 2008] Снитюк В.Е. Прогнозирование. Модели, методы, алгоритмы. – Киев: Маклаут, 2008. – 364 с.
- [Снитюк, 2008] Снитюк В.Е., Быченко А.А., Джулай А.Н. Эволюционные технологии принятия решений в пожаротушении. – Черкассы: Маклаут, 2008. – 268 с.

---

### Информация об авторе

**Александр Землянский** – Адъюнкт, Академия пожарной безопасности имени Героев Чернобыля, 18000, Украина, Черкассы, Ул. Оноприенко, 8; e-mail: [zemapb@gmail.com](mailto:zemapb@gmail.com)

**Виталий Снитюк** – Заведующий кафедрой информационных технологий проектирования, Черкасский государственный технологический университет, 18006, Украина, Черкассы, бул. Шевченко, 460; e-mail: [snytyuk@gmail.com](mailto:snytyuk@gmail.com)