

Секция: *Предупреждение и оценка рисков чрезвычайных ситуаций*

УДК 614.8

Антошкин А.А.

Национальный университет гражданской защиты ГСЧС Украины, г. Харьков

РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ КАК ЗАДАЧ ПОКРЫТИЯ

В работе рассматриваются примеры задач проектирования систем автоматической противопожарной защиты и предлагается их решение как задач покрытия

В процессе обеспечения жизнедеятельности общества, возникает необходимость создания систем наблюдения и контроля, в которых функция цели определяется как оценивание характеристик и состояния объекта не непосредственно, а по дополнительной, например, сигнальной информации. Физическая модель, связывающая характеристики объекта и наблюдаемую информацию, должна быть построена таким образом, чтобы имела возможность осуществить контроль и диагностирование свойств объекта.

Стоимость и сложность системы контроля и наблюдения при соблюдении требований к вероятности обнаружения сигналов зависят в основном от размеров контролируемой площади или поверхности. Основные требования, предъявляемые к системам наблюдения и контроля, следующие:

- система должна обнаруживать источники сигналов в любой точке контролируемого объекта; контроль за каждой точкой наблюдаемой области должен быть осуществлен при минимальном числе контролируемых объектов (датчиков, приемников и т.п.);
- влияние внешних шумов, помех и дублирование фиксаций сигналов разными приемниками должно быть минимальным или исключено (т.е. зоны перекрытия покрываемых объектов должны быть минимально возможными).

В системах контроля и наблюдения задачу можно ограничить обнаружением зоны возникновения сигнала, не входящего в диапазон допустимых параметров. Реальные объекты, имеющие сложные конструкции, требуют при создании этих систем разработки специальных схем размещения датчиков или приемников сигналов. При этом каждая точка контролируемой области должна находиться в зоне действия хотя бы одного приемника (датчика). Учитывая перечисленные требования к системам контроля и наблюдения, сформулируем критерии оптимизации, по которым ведется контроль и наблюдение. Это число приемников сигналов, геометрические характеристики области контроля и т.д. В качестве задачи оптимизации систем контроля и наблюдений можно рассматривать задачи покрытия. Под областью покрытия будем понимать контролируемую поверхность, а под покрывающими множествами – геометрические объекты той же конфигурации, что и зоны уверенного приема сигналов (зоны контроля датчиков).

К числу таких систем наблюдения относятся и системы автоматической противопожарной защиты объектов, которые могут состоять из нескольких подсистем:

- системы пожарной сигнализации;
- системы автоматического пожаротушения;
- системы оповещения о пожаре и управления эвакуацией.

Рассмотрим примеры задач проектирования подсистем автоматической противопожарной защиты, которые могут быть рассмотрены как задачи покрытия. К ним могут быть отнесены:

- 1) Задача размещения пожарных извещателей (технологических датчиков) при проектировании систем пожарной (технологической) сигнализации (СПС);
- 2) Задача размещения выпускных насадков при проектировании автоматических систем водяного и пенного пожаротушения (АУВПТ);
- 3) Задача размещения генераторов огнетушащего аэрозоля при проектировании автоматических систем аэрозольного пожаротушения;
- 4) Задача размещения модулей систем порошкового пожаротушения;

Рассмотрим более подробно эти задачи.

1. В первую очередь определим понятие системы пожарной сигнализации. СПС – это совокупность технических средств, установленных на защищаемом объекте для обнаружения пожара, обработки, представления в заданном виде информации о пожаре, оповещения о пожаре и выдачи команд на включение автоматических установок пожаротушения и других технических устройств.

Чувствительным элементом СПС, позволяющим обнаружить факт возникновения пожара, является пожарный извещатель (ПИ). «Качество» работы СПС во многом зависит от «качества» расстановки ПИ в защищаемом помещении.

Из всего разнообразия существующих ПИ целесообразно выделить большую группу автоматических точечных ПИ. Точечные ПИ, как правило, располагаются на потолке защищаемого помещения и зона, контролируемая таким извещателем, представляет собой круг некоторого радиуса r , определяемого техническими характеристиками ПИ и требованиями нормативных документов, с максимальной чувствительностью в центре и уменьшением чувствительности по мере удаления от него к границам области.

Таким образом, представив защищаемое помещение в виде произвольной области покрытия, а зоны, контролируемые ПИ в виде покрывающих кругов, можно сформулировать данную задачу, как задачу покрытия. При этом следует отметить, что в математической модели задачи будут присутствовать дополнительные ограничения.

Все ограничения в данной задаче можно разделить на две группы – нормативного и технологического характера.

Ограничения нормативного характера – это ограничения, которые сформулированы в нормативных документах. Основными документами, регламентирующими процедуру проектирования систем пожарной сигнализации, являются [1, 2]. В них оговариваются максимально допустимые расстояния между «соседними» пожарными извещателями и от «крайних» извещателей до стены.

Где, «крайние» – это круги, которые имеют непустое пересечение с границей области, а «соседние» – круги с непустым взаимным пересечением.

Ограничения технологического характера – это минимальные расстояния между извещателями и от извещателя до стены. Они определяются габаритными размерами корпуса самого прибора.

На размещение ПИ может повлиять конфигурация потолка и наличие крупногабаритного оборудования в помещении. В связи с этим появляются дополнительные ограничения на размещения ПИ или, так называемые, «области запрета».

Согласно [2] при наличии на потолке выступающих конструкций (балок, ребер плит и т.д.) (рис. 1), высота которых превышает 5% от общей высоты помещения, должны выполняться следующие условия:

$$D > 0.25 \cdot (H - h) \text{ – ПИ необходимо устанавливать в каждом отсеке;}$$

$$D < 0.25 \cdot (H - h) \text{ – ПИ необходимо устанавливать в каждом втором отсеке;}$$

$D < 0.13 \cdot (H - h)$ – ПИ необходимо устанавливать в каждом третьем отсеке,
 где D – расстояние между балками, которое измерено от их внешних сторон,
 H – высота помещения,
 h – высота балки.

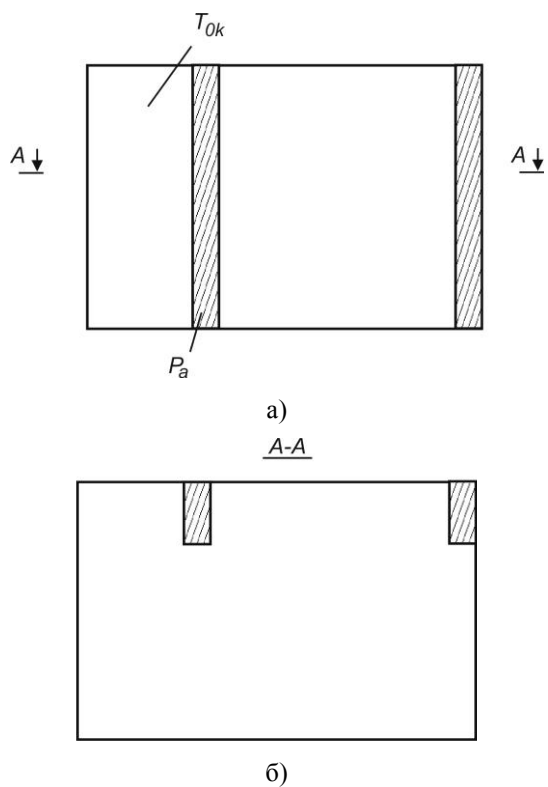
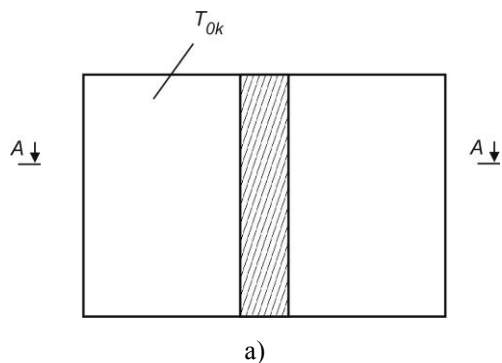


Рисунок 1 – Схематичное расположение ребер плит, балок и прочих элементов на потолке, которые могут влиять на размещение пожарных извещателей

Также при наличии в помещении крупногабаритного оборудования (стеллажи, штабеля и т.д.) (рис. 2), расстояние от верхнего края которых до потолка менее 0,3 м, ПИ необходимо размещать в каждом отсеке, образованном таким оборудованием.



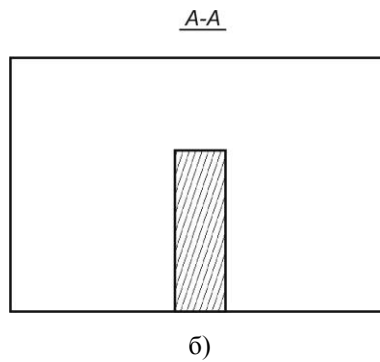


Рисунок 2 – Схематичное расположение стеллажей, штабелей материалов, которые могут влиять на размещение пожарных извещателей

При наличии в помещении балконов, смотровых площадок, вентиляционных коробов и т.д. (рис. 3) габариты которых попадают в диапазоны, указанные в таблице 7.5 [2], под этими конструкциями надо предусматривать дополнительную установку ПИ.

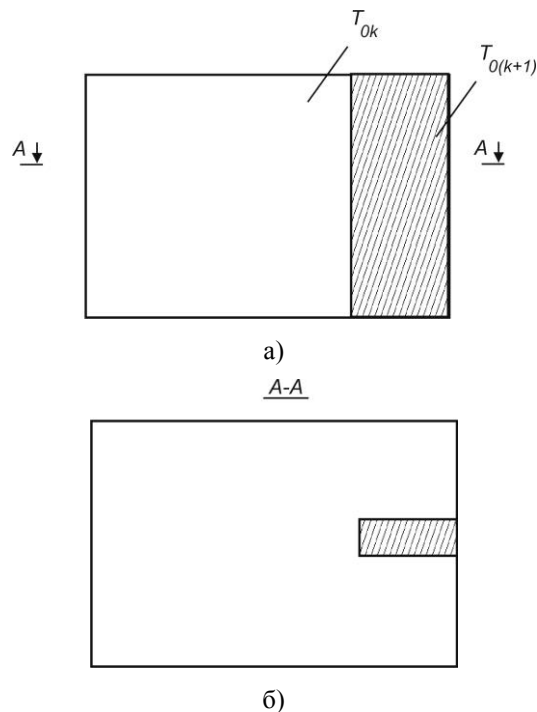


Рисунок 3 – Схематичное расположение балконов, смотровых площадок, которые могут влиять на размещение пожарных извещателей

При выборе мест размещения ПИ могут быть «мертвые зоны», в которых их устанавливать нельзя – светильники, вентиляционные отверстия в подвесном потолке, колонны и т.д.

Проектирование систем пожарной сигнализации на этапе размещения пожарных извещателей не оканчивается. После размещения пожарных извещателей их проводными линиями объединяют в шлейфы и подключают к приемно-контрольному прибору, который выполняет функции «головного мозга», принимая и обрабатывая информацию от периферийных устройств, контролируя работоспособность системы, передавая информацию на пульт централизованного наблюдения и прочие функции.

Задача формирования шлейфов системы пожарной может быть сформулирована в виде еще ряда дополнительных ограничений в рассматриваемой задаче покрытия. А именно: покрывающие круги должны

быть расположены таким образом, чтобы линия, соединяющая их центры имела минимальную длину, при этом выполнялся ряд нормативных и технологических ограничений.

К нормативным ограничениям, которые следует учитывать при формировании шлейфов, относится требование [2] о том, что при неисправностях (обрыве, коротком замыкании) в шлейфе, из строя должно выходить не более 32 ПИ. Для безадресных систем пожарной сигнализации с единственной возможной топологией шлейфов в виде лучей (лучевая, радиальная) это означает, что в один шлейф можно включать не более 32 ПИ. Для адресных систем пожарной сигнализации кроме радиальной топологии, возможна еще и кольцевая. Поэтому разработчики оборудования для увеличения количества ПИ, обслуживаемых одним приемно-контрольным прибором, выпускают так называемые размыкатели. Их устанавливают в начале шлейфа, в конце и через 32 ПИ. При появлении неполадок в шлейфе пара размыкателей блокирует фрагмент шлейфа с местом обрыва или короткого замыкания, после чего функционирование остальной части системы продолжается без изменений.

В случае с кольцевой топологией шлейфов на первое место выходит ограничение технического характера. Каждый приемно-контрольный прибор имеет такую техническую характеристику, как сопротивление и токопотребление в шлейфе. Суммарное значение сопротивления складывается из сопротивлений включенных в шлейф ПИ и сопротивления соединительных линий.

При объединении в один шлейф ПИ, расположенных в разных помещениях (при наличии технической возможности), следует учитывать ограничения нормативного характера из [2]. А именно:

- площадь, защищаемая одним шлейфом в пределах одного этажа, не должна превышать 1600 м²;
- одним шлейфом можно защищать более 5 помещений либо в случае использования адресных систем пожарной сигнализации, либо при наличии над входом в каждое помещение выносного светового устройства (включенного в тот же шлейф), оповещающего о срабатывании ПИ именно в этом помещении;
- одним шлейфом можно защищать помещения в пределах разных этажей при условии:
 1. общая площадь этажа не более 300 м²;
 2. защиты лестничных клеток, лифтовых шахт, кабельных тоннелей, расположенных на разных этажах, но в пределах одного противопожарного отсека.

Аналогичным образом функционируют системы контроля за утечкой газов с использованием газоанализаторов в качестве чувствительных элементов. Причем нормативных ограничений на размещение этих приборов не существует. Необходимо ориентироваться только на ограничения технического и технологического характера.

2. Проектирование АУВПТ требует разработки специальных схем размещения выпускных насадков.

Одним из критериев оптимизации при проектировании АУВПТ является минимизация количества насадков с целью уменьшения сложности системы и ее стоимости. При этом каждая точка защищаемого помещения должна находиться в зоне действия хотя бы одного насадка, а полученные в результате схемы должны отвечать ряду специальных требований, выдвигаемых нормативной литературой.

У каждого насадка существует зона орошения, определяемая техническими характеристиками, которая представляет собой круг заданного радиуса. То есть, представив защищаемое помещение в виде произвольной области покрытия, а зоны орошения, покрывающих кругов, данную задачу можно также можно сформулировать как задачу покрытия с дополнительными ограничениями.

К числу дополнительных ограничений при решении задачи размещения выпускных насадков (оросителей) установок водяного и пенного пожаротушения относятся максимальные расстояние между

соседними оросителями и от крайних оросителей до стены, минимальные расстояния до стены, определяемые [3] и минимальные расстояния между оросителями и от оросителя до стены, определяемые его габаритными размерами.

Кроме минимизации количества оросителей для защиты помещения, необходимо минимизировать и длину трубопроводов, из которых формируется распределительная сеть для подачи огнетушащего вещества к оросителям.

Из-за сложности прокладки подающих трубопроводов при монтаже системы, данная задача может быть решена только как задача регулярного покрытия.

3. Автоматические установки аэрозольного пожаротушения ликвидируют пожар за счет подачи в защищаемое помещение продуктов сгорания аэрозолеобразующей смеси, образующейся в генераторах. Проектирование аэрозольных установок водяного пожаротушения требует разработки схем размещения генераторов для обеспечения концентрации, достаточной для обеспечения тушения пожара. Для этого каждая точка защищаемого помещения должна попадать в зону действия хотя бы одного генератора.

При размещении генераторов следует учитывать такие дополнительные ограничения:

- максимально допустимые расстояния между центрами «соседних» кругов (определяются техническими характеристиками генераторов);
- минимально допустимые расстояния между центрами кругов (определяются габаритными размерами генераторов);
- минимально допустимые расстояния между центрами «крайних» кругов и границей области (определяются габаритными размерами генераторами).

Для уменьшения стоимости системы, в функцию цели задачи целесообразно включить и минимизацию длины проводов, по которым осуществляется их запуск от приемно-контрольного прибора пожарной сигнализации.

4. Модули порошкового пожаротушения действуют за счет подачи в помещение огнетушащего порошка, который сгорая, образует среду непригодную для горения. Для того чтобы обеспечить гарантированную защиту помещения, необходимо, чтобы каждая его точка находилась в зоне действия хотя бы одного модуля.

Подход к решению задачи аналогичен задаче размещения генераторов огнетушащего аэрозоля. Отличие состоит лишь в дополнительном ограничении на размещение модулей в соответствии с которым не допускается размещать их на расстоянии менее 1 м от оконных и дверных проемов, вентиляционных отверстий.

Для решения поставленной задачи введем следующие обозначения, которые будем использовать в дальнейшем:

Ω - область покрытия;

ХОУ – собственная система координат области Ω (в дальнейшем O – полюс области Ω);

$x = 0, y = 0$ – координаты полюса области Ω в системе координат ХОУ;

$I_n = \{1, 2, \dots, n\}$ – индексное множество;

$T_i, i \in I_n$ – i -й покрывающий объект;

n – число размещаемых кругов T_i ;

$x_i, y_i, i \in I_n$ – координаты полюса O_i в системе координат ХОУ;

$P_{aj}, j = 1, \dots, n_p$ – области запрета для размещения кругов T_i ;

n_p – число областей запрета;

$T_{0k}, k = 1, \dots, n_T$ – подобласти, допустимые для размещения центров покрывающих кругов;

n_T – число подобластей, допустимых для размещения центров покрывающих кругов;

r_T^+ – максимально допустимое расстояние между центрами соседних кругов;

r_T^- – минимально допустимое расстояние между центрами соседних кругов;

r_Ω^+ – максимально допустимое расстояние от центра крайнего круга до границы области;

r_Ω^- – минимально допустимое расстояние от центра крайнего круга до границы области;

L – ломаная, соединяющая центры покрывающих кругов;

l_{ij} – отрезок ломаной, соединяющий центры i и j покрывающих кругов;

$T_i \cap T_j \neq \emptyset$ – «соседние» покрывающие объекты;

$T_i \in \text{fr}\Omega = \emptyset$ – «крайние» покрывающие объекты.

На основании вышеперечисленного можно сформулировать базовую оптимизационную задачу (ВОСР).

Пусть Ω многосвязная область, ограниченная дугами окружностей и отрезками прямых, T_i , $i = 1, \dots, n$ круги заданных радиусов. Необходимо покрыть область Ω кругами T_i , $i = 1, \dots, n$ так, чтобы количество покрывающих объектов было минимальным. При этом должен выполняться ряд специальных ограничений, а длина ломаной, соединяющей центры кругов, должна быть минимальной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Системи протипожежного захисту: ДБН В.2.5–56–2014 – [Чинний від 2015-07-01]. – К. : ДП «Укравбудінформ». – 2014. – 127 с. – (Національний стандарт України).

2. Системи пожежної сигналізації та оповіщення. Частина 14. Настави щодо побудови, проектування, монтування, введення в експлуатацію, експлуатування і технічного обслуговування (CEN/TS 54-14:2004, IDT) : ДСТУ-Н CEN/TS 54-14:2009. – [Чинний від 2010-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2009. — 68 с. — (Національний стандарт України).

3. Стационарні системи пожежогасіння. Автоматичні спринклерні системи. Проектування, монтування та технічне обслуговування (EN 12845:2004+A2:2009, IDT) : ДСТУ Б EN 12845:2011. – [Чинний від 2011-07-12]. – К. : Мінрегіон України, 2011. — 218 с. — (Національний стандарт України).

4. Пожежна техніка. Установки автоматичні аерозольного пожежогасіння. Проектування, монтування та експлуатування. Технічні вимоги : ДСТУ 4490. – [Чинний від 2006-07-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2006. — 16 с. — (Національний стандарт України).