

УДК 654.9

## ФОРМИРОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЭВАКУАЦИИ

Мисюкевич Н.С., к.т.н., доцент

*Созданы алгоритмы определения задержек оповещения зон эвакуации и формирования непрерывного людского потока. Они позволяют оптимизировать действия, сочетаясь с подтверждением достоверности факта обнаружения пожара. Алгоритмы являются ступенчатыми. Время задержки оповещения определяется в зависимости от направления движения людей. Общий людской поток формируется непрерывным. Новые составные части добавляются в голове или хвосте потока. Алгоритмы использованы при проектировании систем автоматического управления эвакуацией. Приведена структурная схема алгоритмов.*

(Поступила в редакцию 29 мая 2008 г.)

### I. ВВЕДЕНИЕ

Системы автоматического управления эвакуацией являются составной частью автоматизированных систем обеспечения пожаровзрывобезопасности объекта [1]. Действующие технические нормативные правовые акты (ТНПА) по эвакуации предписывают проводить оповещение людей о пожаре, как правило, всех одновременно [2, 3]. Однако ложное срабатывание систем управления эвакуаций может нарушить жизнедеятельность большого количества людей, находящихся в здании, что является чрезвычайной ситуацией [4]. Избежать неблагоприятных последствий ложных тревог позволяет разработанный автором подход по подтверждению достоверности факта пожара с использованием технических средств и персонала объекта, реализованный в проекте реконструкции учебно-лабораторного корпуса № 15 Белорусского национального технического университета. Семнадцатизэтажное здание рассчитано на одновременное пребывание более 5 тысяч человек. Оптимизация движения людского потока в здании проводится с учетом времени начала эвакуации для каждой из зон. Учитывается как слияние отдельных потоков, так и возможность формирования общего потока людей при присоединении людских потоков из отдельных зон в начале или конце людского потока. Таким образом, практически реализована возможность гибкого управления процессом эвакуации для исключения задержек в пути движения после выхода людей из отдельных помещений.

### II. ОБЩИЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ЗАДЕРЖЕК ОПОВЕЩЕНИЯ

Исследование процесса эвакуации показывает, что наименьшее время эвакуации на участке достигается при интенсивности движения, близкой к максимальной. В случае достижения максимального значения интенсивности возможно резкое изменение интенсивности движения из-за возникновения задержки движения. В результате задержки движения интенсивность существенно снижается и необходимо пространство для накопления людей перед участком, на котором она произошла. Задержка недопустима на участках с изменяющимся уровнем расположения участка, когда движение потока осуществляется сверху вниз (лестничные клетки и т. п.). При высокой плотности потока случайное падение одного человека на таком участке может вызвать цепную реакцию потери равновесия впереди идущих людей в потоке (эффект домино), остальные, подталкиваемые сзади, вынуждены будут пройти по лежащим. Такое развитие ситуации, аналогичное трагедии 1999 г. в переходе станции метро «Немига» в г. Минске, должно исключаться при проектировании маршрутов движения людей и систем управления эвакуацией.

При эвакуации людей из помещения целесообразно определить критический участок, ограничивающий скорость эвакуации (увеличивающий время эвакуации). Таким участком внутри помещения может являться путь эвакуации или эвакуационный выход. Натурные наблюдения за процессом эвакуации в помещениях с массовым пребыванием людей (театры, кинотеатры, актовые залы) показывают, что задержка эвакуации, увеличивающая продолжительность эвакуации из помещения, происходит, как правило, при движении через дверные проемы. Следовательно, для исключения задержки движения людского потока на выходе из помещения и уменьшения общего времени эвакуации, целесообразно ограничить скорость движения к эвакуационным выходам, обеспечив пропускную способность дверных проемов с интенсивностью ниже максимальной. Анализ конструктивного исполнения путей эвакуации, требований ТНПА и математическое моделирование процесса эвакуации из таких помещений показывают, что ситуация по эвакуации из помещений улучшается при уменьшении ширины эвакуационных путей на начальных участках пути движения в помещении. С одной стороны, большое расстояние между рядами сокращает возможности использования объема помещения по назначению (количество мест), с другой – ухудшает возможность экстренной эвакуации людей из помещения в целом.

С учетом этих особенностей возможна задержка оповещения отдельных зон для обеспечения безопасной эвакуации людей из здания. Запасные пути эвакуации можно задействовать при невозможности использования основных или для обеспечения необходимого времени эвакуации. При этом следует предусматривать дополнительные сигналы оповещения для обращения внимания людей на необходимость использования запасных путей эвакуации.

ТНПА установлено [2], что безопасность вынужденной эвакуации людей обеспечивается, если расчетное время эвакуации не превышает необходимого времени эвакуации, с учетом времени задержки начала оповещения людей о пожаре. Общее расчетное время эвакуации определяется исходя из суммарного расчетного времени прохождения людского потока по отдельным эвакуационным участкам с учетом возможных задержек в местах слияния потоков или при изменении вида и ширины путей эвакуации [2].

На практике для подтверждения достоверности обнаружения опасных факторов пожара целесообразно сочетать применение как технических средств, так и персонала объекта с безусловным соблюдением приоритета вопросов безопасности. Наличие нескольких зон оповещения создает условия для регулирования времени оповещения каждой из зон в зависимости от места возникновения пожара и вызывает необходимость разработки сценариев эвакуации. При принятии решения персоналом в течение времени, заданного алгоритмом оповещения, система управления эвакуацией включается автоматически. Персонал за время задержки оповещения может или включить систему оповещения ранее, или отменить ее автоматический запуск при подтверждении ложного срабатывания системы пожарной сигнализации (СПС).

При срабатывании СПС, контролирующей путь эвакуации (коридор), задействуется система автоматического управления процессом эвакуации. В данном случае задержка запуска системы оповещения допустима лишь в случае превышения необходимым временем эвакуации по пути эвакуации (коридору)  $t_{н. кор}$  расчетного времени эвакуации из помещений за пределы зоны контроля  $t_{р.пом-кор}$  [5]:

$$t_{н. кор} > t_{р.пом-кор}. \quad (1)$$

Угроза безопасности людям, находящимся в помещениях зоны оповещения, обслуживаемой коридором, в случае несоблюдения неравенства, возникает сразу по факту появления опасных факторов пожара в коридоре. Такая ситуация должна исключаться за счет изменения путей эвакуации при проектировании. Для действующих объектов система автоматического управления процессом эвакуации должна задействоваться немедленно при обнаружении опасных факторов пожара в коридоре.

### III. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМОГО ВРЕМЕНИ ЗАДЕРЖКИ ОПОВЕЩЕНИЯ ОБ ЭВАКУАЦИИ

Оценка безопасности эвакуации людей путем анализа соответствия расчетного и необходимого времени эвакуации из помещений показывает, что возможность предварительного уведомления о необходимости эвакуации обслуживающего персонала объекта, а затем людей, находящихся в зоне оповещения, в одном из помещений которой произошел пожар, существует, как правило, в течение не более 1 мин. Ввиду этого подтверждение достоверности факта пожара с использованием обслуживающего персонала возможно лишь для включения системы оповещения других (соседних) зон. Время для подтверждения достоверности факта пожара формируется за счет задержек оповещения с учетом особенностей распространения продуктов сгорания. Наиболее неблагоприятная ситуация для эвакуации людей складывается при появлении опасных факторов пожара в коридоре, через который идет эвакуация из помещений. Для защиты коридоров зданий, оборудованных системами оповещения, следует применять СПС, разделяющие сигнал о пожаре на 2: предварительный «Внимание!» – при срабатывании одного пожарного извещателя; окончательный «Пожар» – при срабатывании не менее двух пожарных извещателей.

Максимальное время задержки запуска системы автоматического управления эвакуацией  $t_3$  для помещений, являющихся отдельными зонами, определяем как разницу между необходимым  $t_n$  и расчетным  $t_p$  временем эвакуации из данных помещений:

$$t_3 = t_n - t_p. \quad (2)$$

Если необходимое время эвакуации по коридору  $t_{n, \text{кор}}$  больше суммарного расчетного времени эвакуации из помещений и зоны обслуживания коридора  $t_{p, \text{пом-кор}}$ , то автоматический запуск системы оповещения и управления эвакуацией можно предусматривать при выполнении одного из следующих условий:

1. При срабатывании СПС не менее чем в двух помещениях (коридор также является помещением) контролируемой зоны. Достоверным считаем факт пожара, при котором продукты горения из помещения проникли в коридор. Времени эвакуации по коридору достаточно для безопасной эвакуации из помещений. При наличии людей в помещении расположения очага загорания горение будет обнаружено по факту возникновения до автоматического включения системы оповещения. Соответственно эвакуация из этого помещения будет начата самостоятельно. Условия обеспечения безопасности соблюдаются.

2. Максимальное время задержки оповещения помещений зоны после срабатывания СПС в одном из помещений определяем как разность между необходимым временем движения по коридору  $t_{n, \text{кор}}$ , обслуживающему зону, и расчетным временем эвакуации из помещений за пределы зоны обслуживания коридора  $t_{p, \text{пом-кор}}$ :

$$t_3 = t_{n, \text{кор}} - t_{p, \text{пом-кор}}. \quad (3)$$

При поступлении сигнала о пожаре от пожарных извещателей в коридоре формирование максимального времени задержки оповещения по данному условию является обязательным.

Задержки оповещения зон без постоянного пребывания людей формируем из условия безопасной эвакуации людей, временно находящихся в данной зоне, а также с учетом возможности безопасного движения людских потоков из других зон до достижения одним из опасных факторов критического значения.

Расчет задержки эвакуации для зоны, состоящей из нескольких помещений, имеет некоторые особенности, учет которых позволяет уточнить значения задержек эвакуации. Максимальное время задержки оповещения зоны, через которую идет эвакуация (коридор) из соседней зоны (зоны пожара), определяем как разницу суммарного необходимого

времени эвакуации из коридора зоны пожара  $t_{н. кор}$  и эвакуируемой зоны  $t_{н. пом-кор}$  с расчетным временем эвакуации из зоны оповещения  $t_{р. пом-кор}$ :

$$t_3 = t_{н. кор} + t_{н. пом-кор} - t_{р. пом-кор}. \quad (4)$$

#### IV. СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЭВАКУАЦИИ

Если потоки из зоны пожара и соседней зоны, через которую идет эвакуация (коридора), не оказывают существенного влияния друг на друга (отсутствует слияние, нет постоянного пребывания людей в зоне), максимальное время задержки оповещения зоны, соседней с зоной пожара, можно принимать, как правило, равным необходимому времени эвакуации из зоны пожара. Структурную схему алгоритма формирования максимальных задержек оповещения для управления процессом эвакуации представляем в виде таблицы 1. Проводим разбивку пути эвакуации на зоны от эвакуационного выхода до наиболее удаленной зоны. Как правило, для эвакуации предусматривается не менее двух эвакуационных выходов. Поэтому направление движения выбираем в зависимости от места возникновения пожара. В таблице представляем структуру алгоритма расчета и формулы для определения задержек оповещения для всех зон в зависимости от места возникновения пожара. В головке таблицы по вертикали отмечаем зоны формирования сигнала о пожаре, по горизонтали – зоны оповещения для управления эвакуацией. Таким образом, диагональные значения соответствуют зонам управления, в которых возник пожар. Строка по горизонтали отражает время выдачи сигнала оповещения для каждой из зон. Столбец по вертикали отражает время оповещения отдельной зоны при различных сценариях расположения очага пожара.

Для сохранения высокой скорости движения людского потока и минимизации времени эвакуации целесообразно предусматривать присоединение составных частей к общему людскому потоку в начале или конце людского потока. Учитывая, что пути эвакуации в направлении эвакуационного выхода из здания расширяются, существует возможность формирования непрерывного потока без слияния. Структурную схему алгоритма формирования людского потока с использованием системы управления эвакуацией представляем в виде таблицы 2. Ступенчатая структура алгоритма аналогична предыдущему.

Таблицы 1 и 2 содержат  $n^2$  значений задержек оповещения, где  $n$  – количество зон, на которые разбит объект управления. Цифровые индексы в формулах соответствуют номерам рассматриваемых зон.

Структурные схемы алгоритмов в обобщенном виде отражают принцип определения максимальных задержек оповещения зон, соседних с зоной пожара, и метод формирования непрерывного людского потока. При этом необходимо отметить, что оповещение зоны возникновения горения производится сразу по факту срабатывания СПС или обнаружения горения людьми. Формулы учитывают необходимость первоочередного прохождения потока из горячей зоны и последовательное формирование хвоста потока людьми, эвакуирующимися из зон, расположенных ближе к эвакуовыходу.

#### V. ВЫВОДЫ

Наиболее опасная ситуация для людей в помещении возникает при появлении опасных факторов пожара на пути эвакуации (в коридоре).

Для защиты коридоров зданий, оборудованных системами оповещения, следует применять СПС, разделяющие сигнал о пожаре на 2: предварительный «Внимание!» – при срабатывании одного пожарного извещателя; окончательный «Пожар» – при срабатывании не менее двух пожарных извещателей.

Достоверным подтверждением факта пожара в коридорах можно считать факт срабатывания систем пожарной сигнализации в режиме «Пожар».



Таблица 1 – Структурная схема алгоритма формирования максимальных задержек оповещения для управления процессом эвакуации

Зона управления		Зона управления							
Зона пожара	Помещение	1	2	3	4	5	6	7	8
1		$t_{p1} = t_{k1} - t_{p1}$	$t_{p2} = t_{k1}$	$t_{p3} = t_{k2} + t_{k2}$	$t_{p4} = t_{p3} + t_{k3}$	$t_{p5} = t_{p4} + t_{k4}$	$t_{p6} = t_{p5} + t_{k5}$	$t_{p7} = t_{p6} + t_{k6}$	$t_{p8} = t_{p7} + t_{k7}$
2		$t_{p1} = t_{k2} + t_{k1} - t_{p1}$	$t_{p2} = t_{k2} - t_{p2}$	$t_{p3} = t_{k2}$	$t_{p4} = t_{p3} + t_{k3}$	$t_{p5} = t_{p4} + t_{k4}$	$t_{p6} = t_{p5} + t_{k5}$	$t_{p7} = t_{p6} + t_{k6}$	$t_{p8} = t_{p7} + t_{k7}$
3		$t_{p1} = \sum_{i=1}^3 t_{k_i} - t_{p1}$	$t_{p2} = t_{k3} + t_{k2} - t_{p2}$	$t_{p3} = t_{k3} - t_{p3}$	$t_{p4} = t_{k3}$	$t_{p5} = t_{p4} + t_{k4}$	$t_{p6} = t_{p5} + t_{k5}$	$t_{p7} = t_{p6} + t_{k6}$	$t_{p8} = t_{p7} + t_{k7}$
4		$t_{p1} = \sum_{i=1}^3 t_{k_i} - t_{p1}$	$t_{p2} = \sum_{i=1}^3 t_{k_i} - t_{p2}$	$t_{p3} = t_{k4} + t_{k3} - t_{p3}$	$t_{p4} = t_{k4} - t_{p4}$	$t_{p5} = t_{k4}$	$t_{p6} = t_{p5} + t_{k5}$	$t_{p7} = t_{p6} + t_{k6}$	$t_{p8} = t_{p7} + t_{k7}$
5		$t_{p1} = \sum_{i=1}^5 t_{k_i} - t_{p1}$	$t_{p2} = \sum_{i=1}^5 t_{k_i} - t_{p2}$	$t_{p3} = \sum_{i=1}^5 t_{k_i} - t_{p3}$	$t_{p4} = t_{k5} + t_{k4} - t_{p4}$	$t_{p5} = t_{k5} - t_{p5}$	$t_{p6} = t_{k5}$	$t_{p7} = t_{p6} + t_{k6}$	$t_{p8} = t_{p7} + t_{k7}$
6		$t_{p1} = \sum_{i=1}^6 t_{k_i} - t_{p1}$	$t_{p2} = \sum_{i=1}^6 t_{k_i} - t_{p2}$	$t_{p3} = \sum_{i=1}^6 t_{k_i} - t_{p3}$	$t_{p4} = \sum_{i=1}^6 t_{k_i} - t_{p4}$	$t_{p5} = t_{k6} + t_{k5} - t_{p5}$	$t_{p6} = t_{k6} - t_{p6}$	$t_{p7} = t_{k6}$	$t_{p8} = t_{p7} + t_{k7}$
7		$t_{p1} = \sum_{i=1}^7 t_{k_i} - t_{p1}$	$t_{p2} = \sum_{i=1}^7 t_{k_i} - t_{p2}$	$t_{p3} = \sum_{i=1}^7 t_{k_i} - t_{p3}$	$t_{p4} = \sum_{i=1}^7 t_{k_i} - t_{p4}$	$t_{p5} = \sum_{i=1}^7 t_{k_i} - t_{p5}$	$t_{p6} = t_{k7} + t_{k6} - t_{p6}$	$t_{p7} = t_{k7} - t_{p7}$	$t_{p8} = t_{k7}$
8		$t_{p1} = \sum_{i=1}^8 t_{k_i} - t_{p1}$	$t_{p2} = \sum_{i=1}^8 t_{k_i} - t_{p2}$	$t_{p3} = \sum_{i=1}^8 t_{k_i} - t_{p3}$	$t_{p4} = \sum_{i=1}^8 t_{k_i} - t_{p4}$	$t_{p5} = \sum_{i=1}^8 t_{k_i} - t_{p5}$	$t_{p6} = \sum_{i=1}^8 t_{k_i} - t_{p6}$	$t_{p7} = t_{k8} + t_{k7} - t_{p7}$	$t_{p8} = t_{k8} - t_{p8}$

Таблица 2 – Структурная схема алгоритма присоединения без слияния к движущемуся потоку людей

Начальная зона	Зона управления							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	$t_{31} = 0$	$t_{32} = \sum_{i=1}^2 t_{ip}$	$t_{33} = \sum_{i=1}^3 t_{ip}$	$t_{34} = \sum_{i=1}^4 t_{ip}$	$t_{35} = \sum_{i=1}^5 t_{ip}$	$t_{36} = \sum_{i=1}^6 t_{ip}$	$t_{37} = \sum_{i=1}^7 t_{ip}$	$t_{38} = \sum_{i=1}^8 t_{ip}$
2	$t_{31} = \sum_{i=1}^2 t_{ip}$	$t_{32} = 0$	$t_{33} = \sum_{i=1}^2 t_{ip}$	$t_{34} = \sum_{i=1}^2 t_{ip}$	$t_{35} = \sum_{i=1}^2 t_{ip}$	$t_{36} = \sum_{i=1}^2 t_{ip}$	$t_{37} = \sum_{i=1}^2 t_{ip}$	$t_{38} = \sum_{i=1}^2 t_{ip}$
3	$t_{31} = \sum_{i=1}^3 t_{ip}$	$t_{32} = \sum_{i=1}^3 t_{ip}$	$t_{33} = 0$	$t_{34} = \sum_{i=1}^3 t_{ip}$	$t_{35} = \sum_{i=1}^3 t_{ip}$	$t_{36} = \sum_{i=1}^3 t_{ip}$	$t_{37} = \sum_{i=1}^3 t_{ip}$	$t_{38} = \sum_{i=1}^3 t_{ip}$
4	$t_{31} = \sum_{i=1}^4 t_{ip}$	$t_{32} = \sum_{i=1}^4 t_{ip}$	$t_{33} = \sum_{i=1}^4 t_{ip}$	$t_{34} = 0$	$t_{35} = \sum_{i=1}^4 t_{ip}$	$t_{36} = \sum_{i=1}^4 t_{ip}$	$t_{37} = \sum_{i=1}^4 t_{ip}$	$t_{38} = \sum_{i=1}^4 t_{ip}$
5	$t_{31} = \sum_{i=1}^5 t_{ip}$	$t_{32} = \sum_{i=1}^5 t_{ip}$	$t_{33} = \sum_{i=1}^5 t_{ip}$	$t_{34} = \sum_{i=1}^5 t_{ip}$	$t_{35} = 0$	$t_{36} = \sum_{i=1}^5 t_{ip}$	$t_{37} = \sum_{i=1}^5 t_{ip}$	$t_{38} = \sum_{i=1}^5 t_{ip}$
6	$t_{31} = \sum_{i=1}^6 t_{ip}$	$t_{32} = \sum_{i=1}^6 t_{ip}$	$t_{33} = \sum_{i=1}^6 t_{ip}$	$t_{34} = \sum_{i=1}^6 t_{ip}$	$t_{35} = \sum_{i=1}^6 t_{ip}$	$t_{36} = 0$	$t_{37} = \sum_{i=1}^6 t_{ip}$	$t_{38} = \sum_{i=1}^6 t_{ip}$
7	$t_{31} = \sum_{i=1}^7 t_{ip}$	$t_{32} = \sum_{i=1}^7 t_{ip}$	$t_{33} = \sum_{i=1}^7 t_{ip}$	$t_{34} = \sum_{i=1}^7 t_{ip}$	$t_{35} = \sum_{i=1}^7 t_{ip}$	$t_{36} = \sum_{i=1}^7 t_{ip}$	$t_{37} = 0$	$t_{38} = \sum_{i=1}^7 t_{ip}$
8	$t_{31} = \sum_{i=1}^8 t_{ip}$	$t_{32} = \sum_{i=1}^8 t_{ip}$	$t_{33} = \sum_{i=1}^8 t_{ip}$	$t_{34} = \sum_{i=1}^8 t_{ip}$	$t_{35} = \sum_{i=1}^8 t_{ip}$	$t_{36} = \sum_{i=1}^8 t_{ip}$	$t_{37} = \sum_{i=1}^8 t_{ip}$	$t_{38} = 0$

Для подтверждения факта пожара целесообразно при формировании алгоритма запуска систем оповещения и управления эвакуацией применять задержки выдачи сигналов оповещения в соседние с пожаром зоны с учетом сигналов от пожарных извещателей этих зон.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Топольский, Н.Г. Основы автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности объектов / Н.Г. Топольский. – М.: МИПБ МВД России, 1997. – 164 с.
2. Технический кодекс установившейся практики. Здания и сооружения. Эвакуационные пути и выходы. Правила проектирования: ТКП 45-2.02-22-2006.: Введ. 03.03.06. – Минск: Минстройархитектуры, 2006. – 48 с.
3. Строительные нормы Республики Беларусь. Эвакуация людей из зданий и сооружений при пожаре (с изменениями № 1 и № 2): СНБ 2.02.02-2001.: Утверждены 11.05.01. – Минск: Минстройархитектуры, 2001. – 34 с.
4. О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера: Закон Респ. Беларусь от 5 мая 1998 г., № 141-З // Ведомости Нац. собр. Респ. Беларусь. – 1998. – № 19.
5. Мисюкевич, Н.С. Определение достоверности факта пожара для автоматического управления эвакуацией людей / Н.С. Мисюкевич // «Системы безопасности» – СБ-2007: материалы XVI науч.-техн. конф., Москва, 25 окт. 2006 г. / Академия ГПС МЧС РФ; редкол.: Прус Ю.В. [и др.]. – М., 2007. – С. 111–114.