

А.Н. Членов, П.А. Орлов, А.Ф. Шакирова  
(Академия Государственной противопожарной службы МЧС России,  
НОУ "Институт электронных систем безопасности"; e-mail: mail@takir.ru)

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗВУКОВОГО УКАЗАТЕЛЯ ПОЖАРНОГО ВЫХОДА

Изложены результаты исследования звукового указателя выхода ExitPoint фирмы System Sensor. Подтверждена высокая эффективность его применения на объектах сложной конфигурации с массовым пребыванием людей.

Ключевые слова: звуковой, указатель, выход, пожарный.

A.N. Chlenov, P.A. Orlov, A.F.Shakirova  
EXPERIMENTAL RESEARCH  
OF SOUND FIRE EXIT SIGNS

The results of investigation of the sound output pointer ExitPoint company System Sensor. Confirmed high efficiency of its use at the facilities complex configuration with a massive presence of people.

Key words: sound, sign, exit, fire.

В помещениях сложной формы в условиях задымленности обычные световые указатели плохо или совсем не видны. Эффективность применения звукового указателя обусловлена тем, что в этих условиях он позволяет людям легче ориентироваться при эвакуации.

Основные технические характеристики звукового указателя выхода ExitPoint фирмы System Sensor:

Напряжение питания от 16 В до 33 В.

Диапазон излучаемых частот от 707 Гц до 11314 Гц.

Диапазон рабочих температур: 0 °С - 49 °С.

Имеет клеммы для подключения к устройствам электропитания, управления, а также переключатели для выбора типа и уровня сигналов.

Регулировка мощности: 4, 2, 1, 0,5 и 0,25 Вт.

Выбор типа звукового сигнала в паузах между излучением шумового направляющего звука: стандартный звуковой сигнал пожарной тревоги - три одночастотных импульса с паузой, увеличивающаяся по частоте сирена (вверх по лестнице), снижающаяся по частоте сирена (вниз по лестнице) либо дополнительный сигнал выключен.

Этап эвакуации передается частотой излучения шумовых отрезков: низкая частота - выход из внутренних помещений здания, средние частоты MED2 и MED1 - выход из средних помещений, высокая частота FAST (exit) - выход из здания.

Спектры излучаемого звукового сигнала и шума представлены на рис. 1.

Определим, в результате чего получается выигрыш во времени эвакуации при применении звуковых указателей выхода.

Общее время  $\tau_0$ , которое затрачивает человек при эвакуации из здания с начала возникновения пожара, складывается из двух периодов: период развития пожара до срабатывания системы оповещения  $\tau_1$  и период эвакуации  $\tau_2$ :

$$\tau_0 = \tau_1 + \tau_2. \quad (1)$$

Каждый из этапов включает несколько составляющих:

$$\tau_1 = \tau_{11} + \tau_{12} + \tau_{13}, \quad (2)$$

где  $\tau_{11}$  – время развития пожара;

$\tau_{12}$  – время обнаружения пожара системой пожарной сигнализации;

$\tau_{13}$  – время активизации системы оповещения:

$$\tau_2 = \tau_{21} + \tau_{22} + \tau_{23} + \tau_{24} + \tau_{25}, \quad (3)$$

где  $\tau_{21}$  – время на анализ человеком ситуации и определение направления движения;

$\tau_{22}$  – время задержки из-за неверного маршрута движения;

$\tau_{23}$  – время движения до выхода;

$\tau_{24}$  – время задержки у выхода;

$\tau_{25}$  – время задержки на выход.

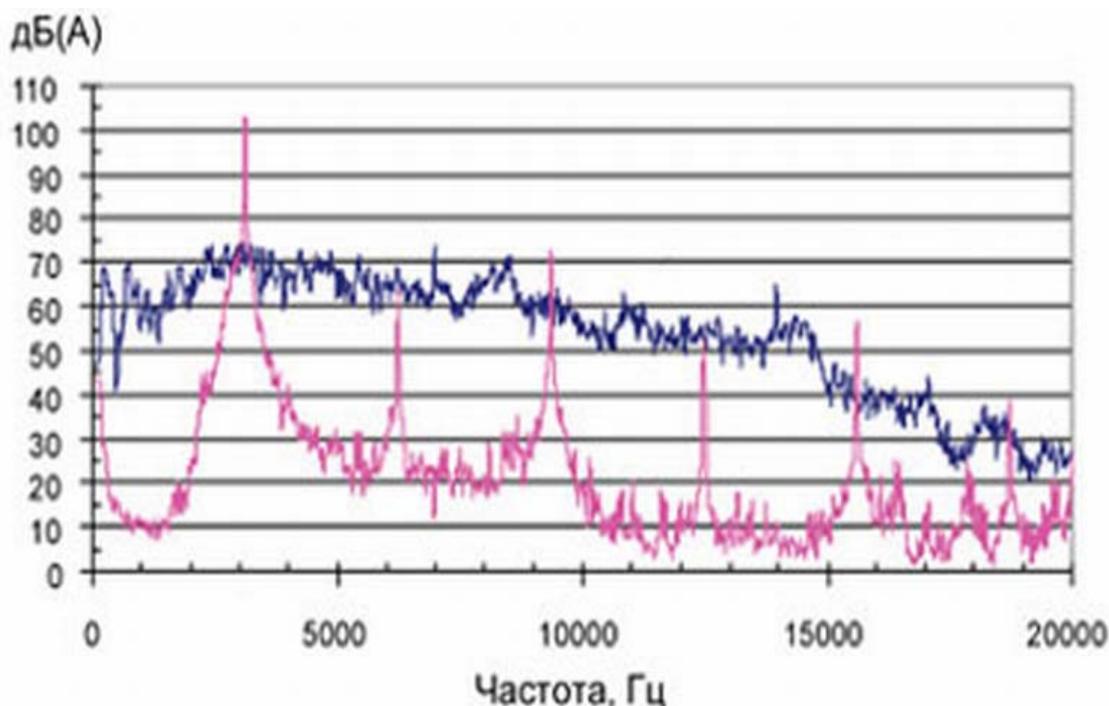


Рис. 1. Спектры сигнала звукового оповещателя на 3 кГц (внизу) и шумового сигнала (вверху)

Время на анализ человеком ситуации  $\tau_{21}$  определяется инерционностью мышления, а также наличием указаний и подсказок, формируемых системой оповещения.

Ошибка в выборе маршрута движения может послужить причиной серьезной задержки эвакуации на время  $\tau_{22}$ . Известно, что человек в экстремальных ситуациях стремится покинуть здание тем же путем, что и вошел в него. Это является часто далеко не оптимальным маршрутом: лифты отключены, общий проход переполнен людьми.

На время движения к выходу  $\tau_{23}$  существенное влияние оказывают условия видимости. Скорость движения человека в дыму ("на ощупь") может существенно возрасти при наличии каких-либо "подсказок", например в виде звукового сигнала.

Время задержки на выход  $\tau_{25}$  и время задержки у выхода  $\tau_{24}$  связаны с наличием препятствий, в частности, скопления людей у выхода и особенностями конструкции выхода.

Таким образом, выигрыш во времени эвакуации  $\Delta\tau$  в случае применения звуковых указателей складывается из:

$$\Delta\tau = \tau_{21} + \tau_{22} + \tau_{23} . \quad (4)$$

Анализ составляющих в выражении (4) показывает, что максимальный удельный вес принадлежит задержке при эвакуации, связанной с выбором неправильного направления движения.

Поэтому целесообразно исследовать эффективность выбора направления движения в условиях отсутствия видимости с помощью звукового указателя ExitPoint.

С этой целью авторами были проведены экспериментальные исследования.

Исследования проводились в двух помещениях:

- 1) помещении учебного класса размерами  $6 \times 10$  м;
- 2) помещении сложной конфигурации с колоннами общей площадью  $200 \text{ м}^2$  (холл учебного корпуса Академии ГПС МЧС России).

Уровень звукового давления фонового шума не превышал  $50 \text{ дБ}$ . Превышение звукового давления, создаваемого указателем, над шумом составляло  $15-20 \text{ дБ}$ .

В первом помещении 12-ти испытуемым, произвольно расположенным, предлагалось с закрытыми глазами определить направление на звуковой указатель. Проводилось три измерения, при этом звуковой указатель располагался в разных местах.

Во втором помещении человек (испытатель) с закрытыми глазами

размещался на расстоянии не менее 10 м от звукового указателя. Вращением на месте терялась его ориентация в помещении, после чего включался звуковой указатель, и человек, ориентируясь по звуку, рукой указывал направление на звуковой указатель.

В обоих экспериментах определялось отклонение указанного направления от направления на источник звука с помощью транспортира. Ошибка измерений не превышала 2 градуса.

Испытания проводились с разными испытуемыми, разного возраста (от 22 до 60 лет) при произвольном относительном размещении испытуемого и указателя. Время ориентации ограничивалось тремя секундами.

Максимальное отклонение в результате испытаний составило 15 град.

Средняя погрешность определения направления  $\bar{\Delta}$  определялась по формуле:

$$\bar{\Delta} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i}{n}, \quad (5)$$

где  $\Delta_i$  - ошибка  $i$ -го измерения;

$n$  - общее количество измерений.

Средняя погрешность в определении направления движения составила 4,8 град. Отмечено, что у пожилых людей эта ошибка может быть больше, чем у молодых.

Всего в результате второго эксперимента было проведено 24 измерения. Общее количество измерений в результате двух экспериментов составило 50.

В табл. 1 представлены результаты экспериментов. На рис. 2. представлена гистограмма относительных частот, которая является эмпирическим дифференциальным законом распределения ошибки.

Таблица 1

|                  |     |     |     |     |     |     |     |
|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $Q, \text{град}$ | 165 | 170 | 175 | 180 | 185 | 190 | 195 |
| Количество, $n$  | 3   | 5   | 9   | 15  | 9   | 7   | 2   |

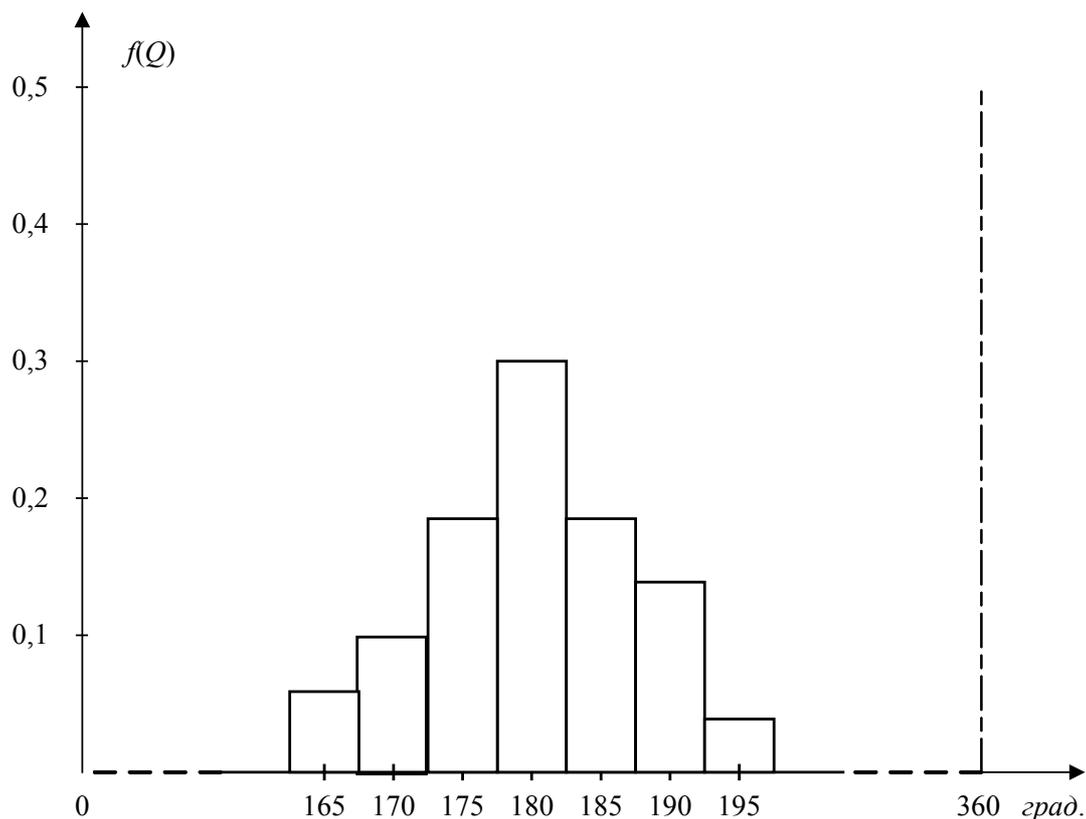


Рис. 2. Гистограмма относительных частот ошибки в определении направления движения

Рассчитанное по экспериментальным данным значение среднеквадратического отклонения составляет

$$\sigma = \sqrt{D(Q)} = \sqrt{M(Q^2) - M(Q)^2} = 18,5 \text{ град}^{1/2}.$$

Учтем, что диапазон возможных значений углов  $Q$  отклонения ограничен  $\pm 180 \text{ град}$ . Данным требованиям соответствует усеченный нормальный закон распределения, для которого плотность вероятности определяется выражением [1]:

$$f(Q) = \begin{cases} 0, & \text{при } Q \leq 0 \text{ град} \\ \frac{C}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(Q-M(Q))^2 / 2\sigma^2}, & \text{при } 0 \text{ град} < Q < 360 \text{ град} \\ 0, & \text{при } Q \geq 360 \text{ град}, \end{cases} \quad (6)$$

где  $C$  – нормирующий множитель, значение которого выбирают из условия равенства единице площади под кривой плотности вероятности  $f(Q)$ .

$$C = \frac{\sigma\sqrt{2\pi}}{\int_0^{360} e^{-(Q-M(Q))^2/2\sigma^2} dQ}. \quad (7)$$

Для усеченного нормального распределения дисперсия

$$D[Q] = \sigma^2[1 - C_1^2 - C_1 Q(t)/\sigma], \quad (8)$$

$$C_1 = \frac{C(t)}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-Q(t)^2/2\sigma^2}. \quad (9)$$

Следует отметить, что для значений  $Q$ , удаленных от границ  $[0, 360 \text{ град}]$  при относительно небольших значениях  $\sigma$  достаточную точность может дать использование и простого нормального (не усеченного) распределения.

Рассчитанное по экспериментальным данным значение среднеквадратического отклонения составляет  $\sigma = 18,5 \text{ град}^{1/2}$ .

$$M(Q) = \sum_{i=1}^n Q_i p_i = 179,1 \text{ град}.$$

Зависимость вероятности для человека отклониться от направления на звуковой указатель ( $Q_0$ ) на угол более  $Q_T$  может быть определена с помощью выражения:

$$P(Q \geq Q_T) = 2 \frac{C}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{Q_T} e^{-(Q-M(Q))^2/2\sigma^2} dQ, \quad (10)$$

где  $Q_T < 180 \text{ град}$ .

Подставляя в (10) значение  $C$  из (7), получаем выражение, не зависящее от  $C$ :

$$P(Q \geq Q_T) = \left[ 2 \cdot \int_0^{Q_T} e^{-(Q-M(Q))^2/2\sigma^2} dQ \right] \cdot \left[ \int_0^{360} e^{-(Q-M(Q))^2/2\sigma^2} dQ \right]^{-1}. \quad (11)$$

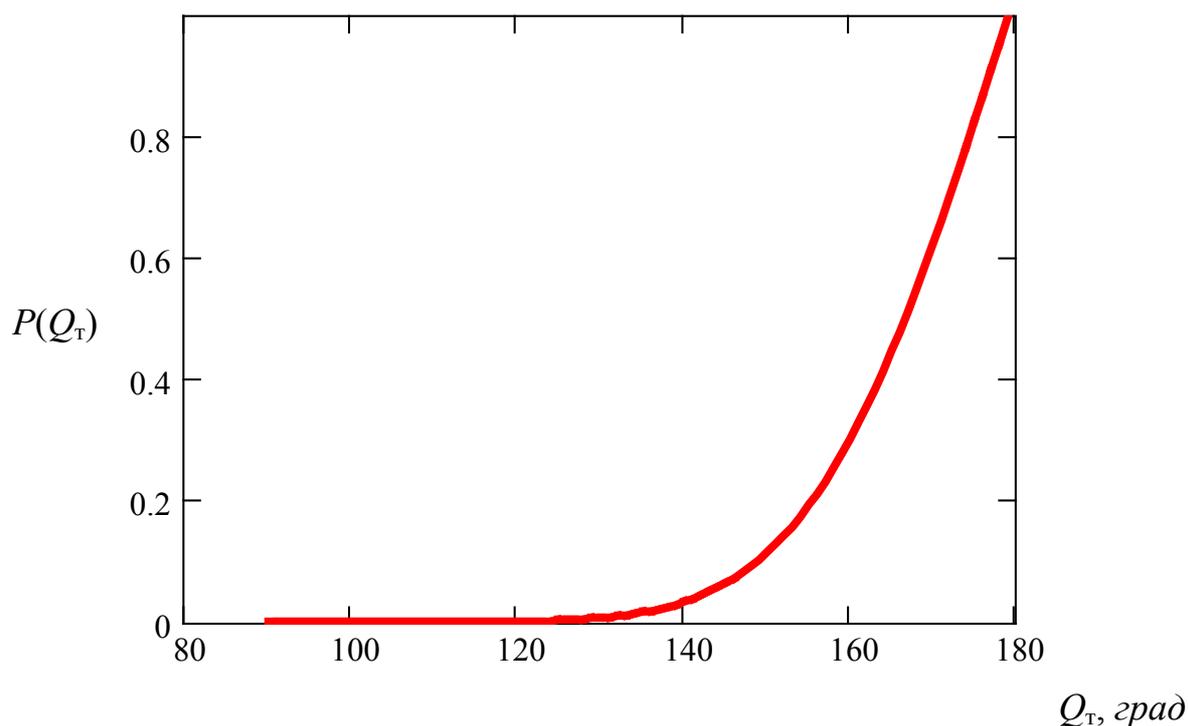


Рис. 3. Зависимость вероятности отклонения от направления на звуковой указатель на угол  $(180 - Q_T)$  град

Считая ошибочное направление движения направлением под углом  $\geq 90$  градусов (поворот по коридору в неправильном направлении) получим оценку вероятности ошибки в направлении движения:

$$P(\geq 90 \text{ град}) = 0,0015.$$

Таким образом, вероятность ошибки близка к нулю.

Из проведенных вычислений и рис. 2 следует, что звуковой указатель ExitPoint фирмы System Sensor в условиях ограниченного времени и отсутствия видимости позволяет достаточно точно ориентировать человека для движения в направлении, необходимом при эвакуации. Следовательно, применение таких указателей целесообразно при проектировании системы оповещения и управления эвакуацией на крупном объекте с массовым пребыванием людей.

#### Литература

1. Звуковой указатель ExitPoint (PF Directional Sounder). Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – [www.systemsensor.com](http://www.systemsensor.com).
2. Гурский Е.И. Теория вероятностей с элементами математической статистики. - М.: Высш. шк., 1971. - 328 с.
3. Ястребенецкий М.А., Иванова Г.М. Надежность автоматизированных систем управления технологическими процессами. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 264 с.
4. Справочник по вероятностным расчетам. – М.: Воениздат, 1970. - 536 с.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 3 июля 2009 г.