

А.Н. Членов П.А. Орлов, А.Ф. Шакирова
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗВУКОВОГО
УКАЗАТЕЛЯ ПОЖАРНОГО ВЫХОДА

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

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 16В до 33 В.

Диапазон излучаемых частот от 707 Гц до 11314 Гц.

Диапазон рабочих температур 0 °С - 49 °С.

Имеет клеммы для подключения к устройству 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.

Спектр излучаемого звукового сигнала и шума представлен на рис. 1.

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

Общее время τ_0 , которое затрачивает человек при эвакуации из здания с начала возникновения пожара складывается из двух этапов (рис.1): период развития пожара до срабатывания системы оповещения τ_1 и период эвакуации τ_2

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

В свою очередь, каждый из этапов включает несколько составляющих:

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

где τ_{11} – время развития пожара;

τ_{12} - время обнаружения пожара системой пожарной сигнализации;

τ_{13} – время активизации системы оповещения.

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

где τ_{21} – время на анализ человеком ситуации и определения направления движения;

τ_{22} - время задержки из-за неверного маршрута движения;

τ_{23} – время движения до выхода;

τ_{24} – время задержки у выхода;

τ_{25} – время задержки на выход.

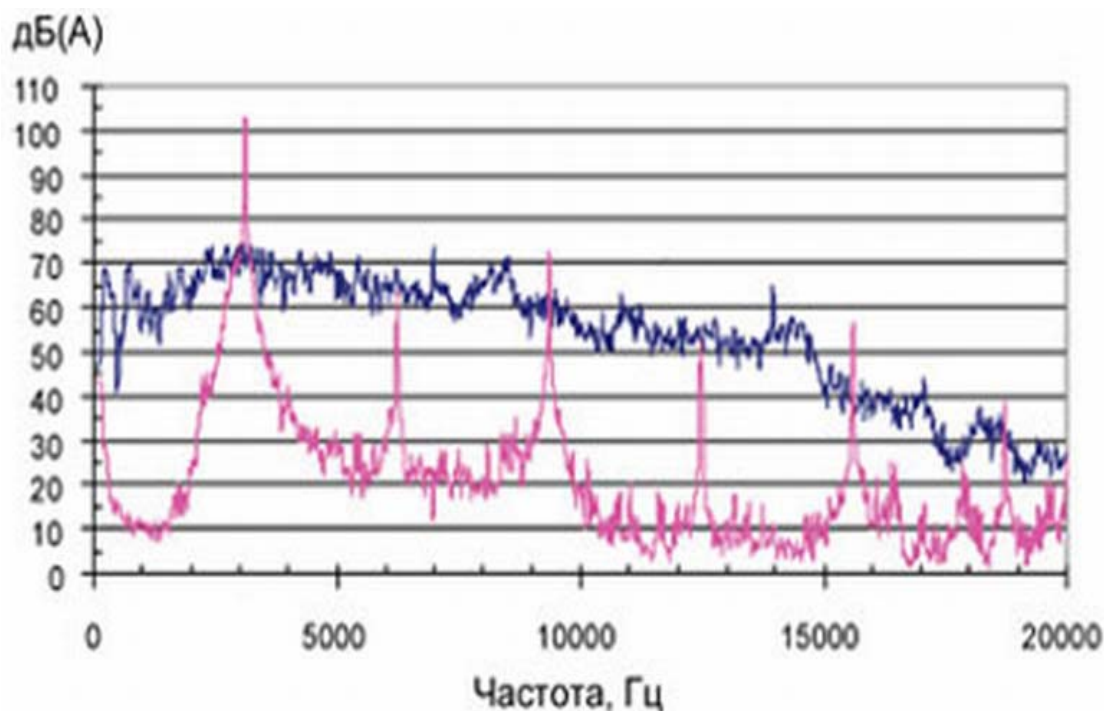


Рис. 1. Спектр сигнала звукового оповещателя на 3 кГц (внизу) и шумового сигнала (вверху)

Время на анализ человеком ситуации τ_{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 τ_{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 τ_{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 τ_{25} и время задержки у выхода τ_{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, связанный с выбором неправильного направления движения.

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

С этой целью нами были проведены экспериментальные исследования.

Исследования проводились в двух помещениях:

- 1) помещении учебного класса размерами 6x10 м;
- 2) помещении сложной конфигурации с колоннами общей площадью 200 м² (холл учебного корпуса Академии ГПС МЧС России).

Уровень звукового давления фонового шума не превышал 50 дБ. Превышение звукового давления, создаваемого указателем, над шумом составляло 15 – 20 дБ.

В первом помещении 12 испытуемых, 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 в градусах угла. 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 абсолютная погрешность определения направления $\bar{\Delta}$ определялась по формуле:

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

где Δ_i - ошибка i -го измерения;
 n - общее количество измерений.

Значение средней абсолютной погрешности – ошибки 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.4 представлены результаты экспериментов. На рис. 3. представлена гистограмма относительных частот, которая является эмпирическим дифференциальным законом распределения ошибки.

Таблица 4

Q , град	165	170	175	180	185	190	195
Количество, n , ед.	3	5	9	15	9	7	2

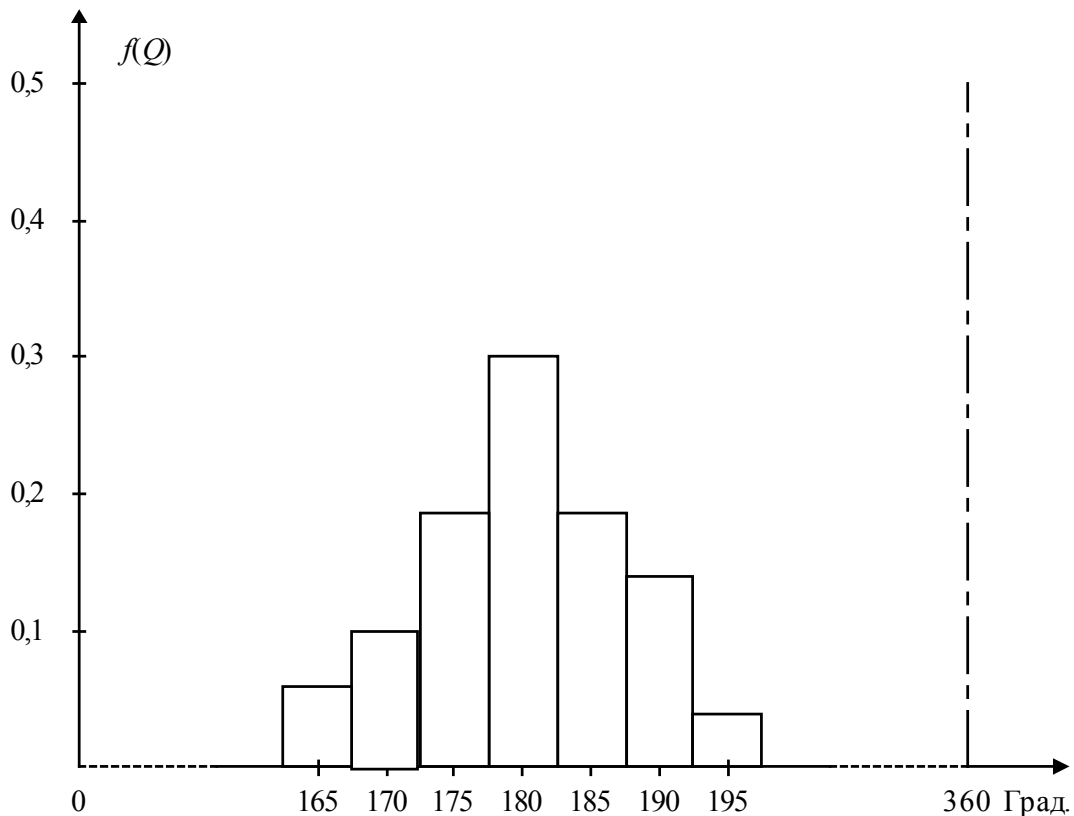


Рис. 3. Гистограмма относительных частот ошибки в направлении движения

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 ± 180 град. Данным требованиям соответствует усеченный нормальный закон распределения, для которого плотность вероятности определяется выражением [1]:

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

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 σ 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:

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

$Q_T < 180$ град.

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

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

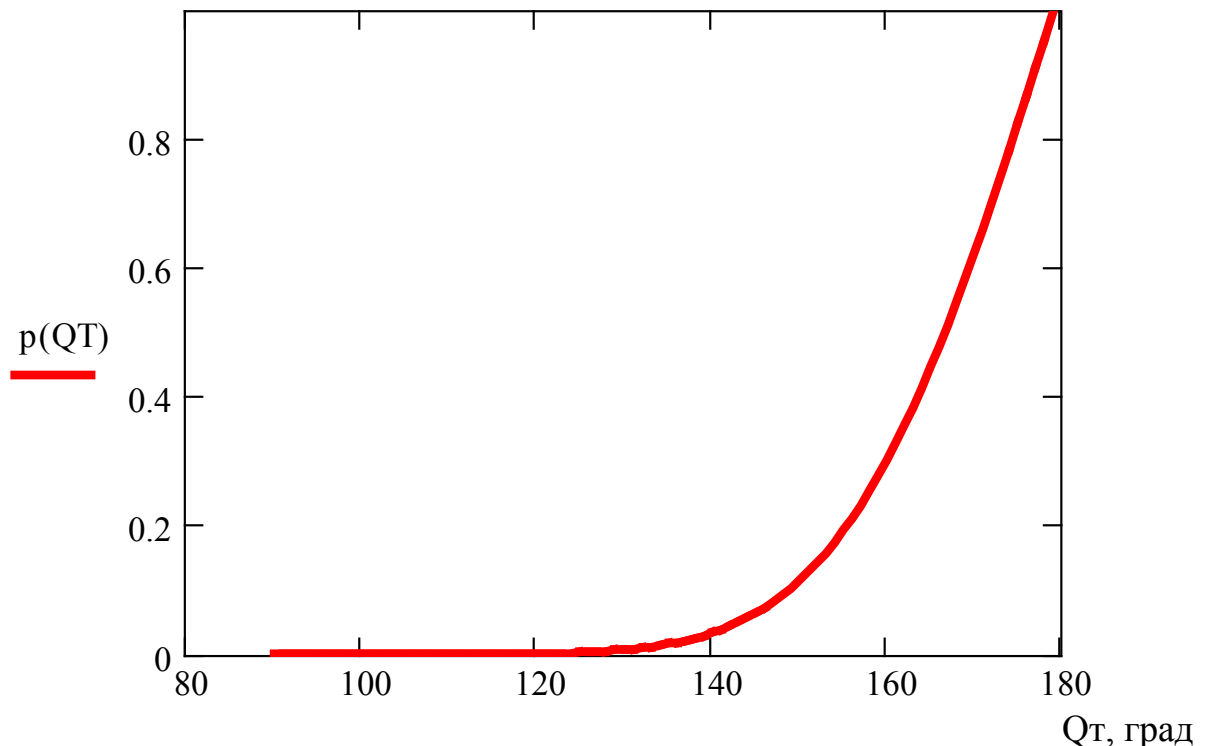


Рис. 4. Зависимость вероятности отклонения от направления на звуковой указатель на угол $(180 - Q_T)$ град

Считая ошибочное направление движения направлением под углом ≥ 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.
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.