

УДК 534.6

DOI: 10.17277/voprosy.2022.02.pp.161-170

ИССЛЕДОВАНИЕ СЛЫШИМОСТИ И ВОСПРИЯТИЯ СИГНАЛОВ ТРЕВОГИ У ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРЕ

Д. А. Коробова, О. А. Иванова

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Москва, Россия

Ключевые слова: звуковая мощность; звуковой сигнал; пожарная сигнализация; пожарный извещатель; уровень звука; эвакуация людей.

Аннотация: Исследованы факторы, влияющие на восприятие людьми сигналов пожарной тревоги. Проведена оценка эффективности звуковой сигнализации пожарных извещателей в полузаглушенной камере акустической лаборатории ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», а также на основе эксперимента, проводимого с отобранной группой людей. Определены параметры, влияющие на скорость реагирования людей на сигналы тревоги.

Введение

В работе рассмотрен такой источник возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера, как пожар, который происходит в зданиях и сооружениях жилого, социально-бытового и культурного назначения [1]. Особое внимание уделено вопросу о своевременном обнаружении пожара и оповещении о нем людей с последующей эвакуацией.

У звуковых предупреждающих сигналов есть большое преимущество перед визуальными предупреждениями и дисплеями. Звук привлекает внимание людей независимо от того, куда направлен взгляд.

Пожарная сигнализация считается лучшим способом решения четырех основных задач:

- предупреждение жителей о пожаре;

Коробова Дарья Алексеевна – студент, e-mail: korobova.da@yandex.ru; Иванова Ольга Алексеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Экология и промышленная безопасность», ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Москва, Россия.

- призыв к незамедлительным действиям;
- подача сигнала к началу эвакуационного движения;
- обеспечение достаточного времени для эвакуации людей.

Важным элементом системы оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ) людей являются пожарные извещатели [2]. Детектор пожара состоит из двух основных компонентов: детектора горючего аэрозоля, который определяет наличие пожара, и устройства сигнализации для оповещения людей.

В последние два десятилетия обнаружение аэрозолей привлекло внимание всего мира и в настоящее время хорошо изучено, но проблема создания громкого сигнала тревоги рассматривалась недостаточно.

Многие люди не воспринимают сигнал тревоги как истинный, принимая его за сигналы другого назначения. Данная проблема приведет к увеличению времени эвакуации и, как следствие, снижению эффективности проведения мероприятий, направленных на уменьшение риска возникновения чрезвычайных ситуаций и сохранение здоровья людей.

Согласно нормам пожарной безопасности звуковые сигналы оповещения должны отличаться по тональности от звуковых сигналов другого назначения [3]. В NFPA 72 (США) в целях устранения вероятности неправильной интерпретации тревожного сигнала вид звукового сигнала, используемого в системах пожарной сигнализации, стандартизован [4]. Вид сигнала периодический, каждый период равен 4 с и состоит из трех импульсов с паузами: звуковой сигнал 0,5 с, пауза 0,5 с (два импульса) и звуковой сигнал 0,5 с, пауза 1,5 с (рис. 1) [5].

По стандарту [4] общая минимальная продолжительность сигнала – 180 с, по НПБ 104-03 СОУЭ должна функционировать в течение времени, необходимого для завершения эвакуации людей из здания.

Для своевременного реагирования людей на пожар следует учитывать и уровень звука. По требованиям пожарной безопасности к звуковому и речевому оповещению и управлению эвакуацией людей звуковые сигналы СОУЭ должны обеспечивать общий уровень звука не менее 75 дБА на расстоянии 3 м от оповещателя, но не более 120 дБА в любой точке

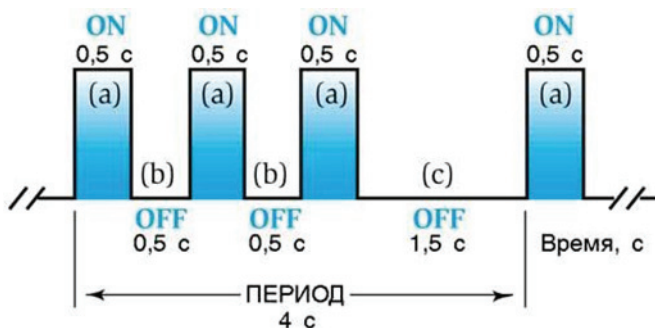


Рис. 1. Временная диаграмма стандартного сигнала оповещения для пожарных сигнализаций:

(a) – звуковой сигнал «включен» в течение $0,5 \text{ с} \pm 10 \%$; (b) – звуковой сигнал «выключен» в течение $0,5 \text{ с} \pm 10 \%$; (c) – звуковой сигнал «выключен» в течение $1,5 \text{ с} \pm 10 \%$; [(c) = (a) + 2(b)]

защищаемого помещения [2]. Уровень звука должен быть не менее чем на 15 дБА выше допустимого уровня звука постоянного шума в защищаемом помещении.

Также на слышимость звукового сигнала у людей влияет частота сигнала. Относительно более громкими и раздражающими звуками, шумами будут те, которые имеют в своем составе более высокую частоту при том же уровне звукового давления. Чем ниже частота сигнала (< 1000 Гц), тем требуется меньший уровень звукового давления, и наоборот, чем выше (> 1000 Гц), тем – больший уровень звукового давления, и у этого сигнала большее ослабление.

Для повышения скорости реагирования необходимо также учесть речевое оповещение. По требованиям пожарной безопасности к звуковому и речевому оповещению и управлению эвакуацией людей речевые оповещатели должны воспроизводить нормально слышимые частоты в диапазоне 200...5000 Гц [2].

Другим важным фактором при анализе сигнала тревоги является физическое состояние человека. Основные психофизиологические факторы сильно влияют на то, как люди реагируют на сигнал о пожаре [6]. Во многом это зависит от возраста, физиологических особенностей, состояния здоровья, воздействия медицинских препаратов, возможного нахождения в алкогольном опьянении и т.п. Для людей с патологиями (например, с нарушением слуха) требуются сигналы тревоги с уровнями звука более 100 дБ, чтобы они оказались в числе оповещенных. Однако данные психофизиологические факторы не учитываются при планах эвакуации и проектировании зданий.

В настоящей работе проблемы слышимости сигналов тревоги у людей при пожаре исследуются с помощью пожарных извещателей в полузаглушенной акустической лаборатории ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (далее МГТУ им. Н. Э. Баумана), а также на основе эксперимента, проводимого с группой людей.

Постановка и проведение эксперимента в акустической лаборатории

Проблема слышимости и узнавания сигнала тревоги у людей является основной причиной быстрого реагирования при пожарах.

На сегодняшний день автономные пожарные извещатели (АПИ) являются одними из наиболее эффективных средств по предупреждению гибели людей от пожаров. Они выделяются среди средств активной защиты от огня, поскольку могут реагировать на дым на ранней стадии возгорания и способны звуковым сигналом тревоги своевременно предупредить жителей об угрозе пожара, не требуют прокладки специальных линий пожарной сигнализации и применения дополнительного оборудования (приемно-контрольных станций и т.п.).

Для проведения эксперимента выбраны следующие пожарные извещатели, популярные на российском рынке (рис. 2).

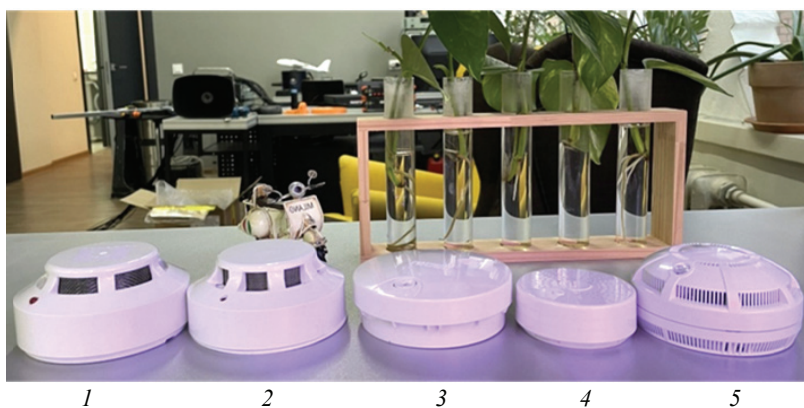


Рис. 2. Испытуемые объекты – извещатели пожарные дымовые автономные опτικο-электронные:
 1 – ИПД-3.4М; 2 – ИП 212-43; 3 – ДИП-34АВТ (ИП 212-34АВТ);
 4 – HIPERloTS1; 5 – ИП 212-50М

Измерения уровня звука выбранных извещателей проводились в акустической лаборатории МГТУ им. Н. Э. Баумана, в полузаглушенной камере со звукоотражающим полом. В качестве измерительной поверхности выбрана полусферической поверхность. Испытания проводились с соблюдением следующих правил в соответствии с ГОСТ ISO 3745–2014 [7]:

- во время проведения измерения шума оператор, проводящий измерение, должен находиться от измерительного микрофона на расстоянии не менее 0,5 м для уменьшения нежелательных отражений звука. Между измерительным микрофоном и источником шума не должны находиться какие-либо лица или размещаться посторонние (особенно крупногабаритные) предметы;

- в полузаглушенной камере измерения выполняют над звукоотражающей плоскостью, которая должна быть единственной в камере;

- испытательный источник шума устанавливают так, чтобы его акустический центр совпадал, насколько это возможно, с центром полусферической измерительной поверхности и находился предпочтительно в центре пола камеры. Источник шума должен находиться на расстоянии не менее 1,5 м от любой звукопоглощающей поверхности испытательного пространства;

- центр полусферической измерительной поверхности должен находиться на полу камеры и совпадать с вертикальной проекцией акустического центра испытуемого источника шума, если тот известен, или, если неизвестен, с вертикальной проекцией геометрического центра источника шума. Измерительный радиус r выбран за 0,5 м. Площадь полусферической измерительной поверхности равна $1,6 \text{ м}^2$.

Сбор информации осуществлялся с помощью системы сбора данных SIRIUS фирмы Dewesoft.

Как рассматривалось ранее, чувствительность слуха падает с понижением частоты звука. Чтобы приблизить результаты объективных измерений к субъективному восприятию, вводят скорректированные уровни звукового давления, звуковой мощности и т.п. Коррекция заключается в использовании поправок к уровню соответствующей величины, зависящей от частоты звука [8]. В настоящее время широко применяются определяе-

мые международными рекомендациями и стандартами схемы частотной коррекции, обозначенные «А», «В» и «С». В данной работе измерения проводились с использованием коррекции «А».

Для измерений использовались 20 точек, расположенных на полусферической измерительной поверхности выбранного радиуса. В каждую из них устанавливались микрофоны всенаправленного действия (рис. 3). Измерения для каждого испытуемого объекта проводилось по 3 раза с калибровкой микрофонов в начале и конце эксперимента. Обработка результатов осуществлялась с использованием программного обеспечения DewesoftX. В результате получили экспериментальные данные, представленные на рис. 4. и в табл. 1.

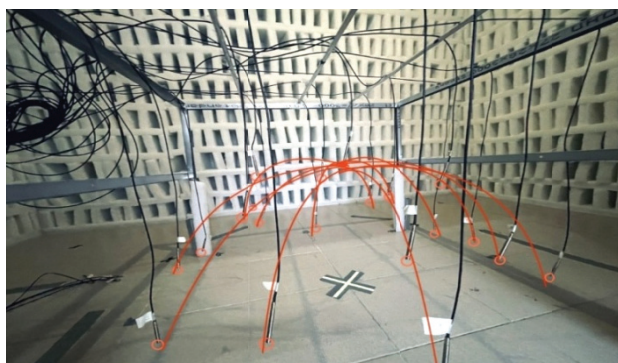


Рис. 3. Экспериментальная установка для испытаний

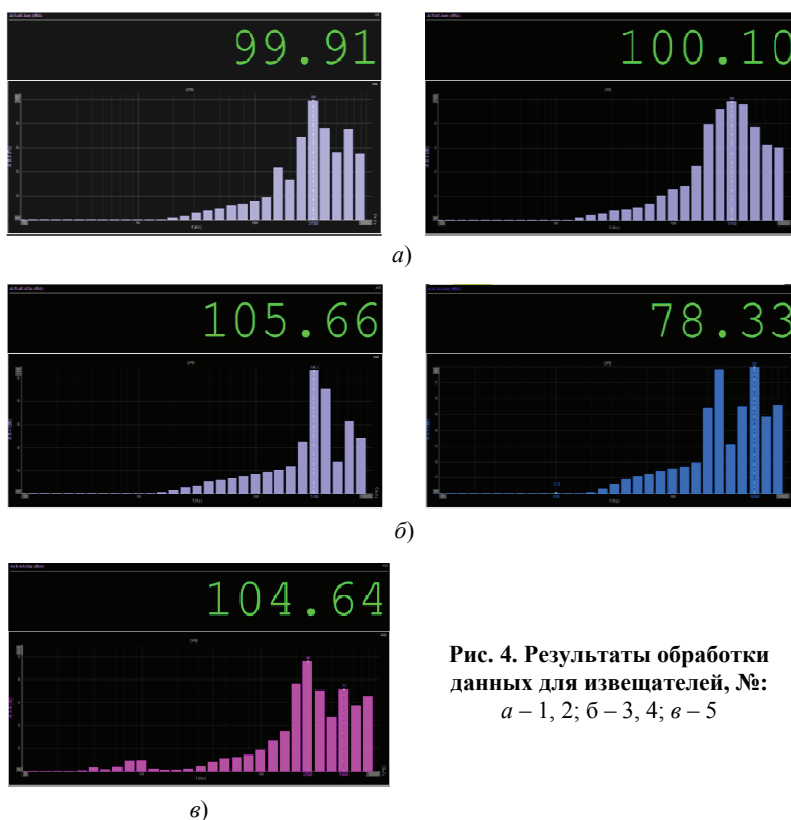
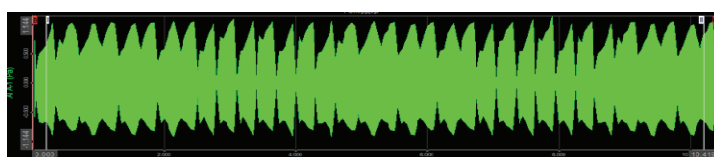


Рис. 4. Результаты обработки данных для извещателей, №: а – 1, 2; б – 3, 4; в – 5

Результаты экспериментальных измерений

номер	Пожарный извещатель	Максимальный уровень звука, дБА	Частота максимального уровня звука, Гц
	название		
1	ИПД-3.4М	99,91	3150
2	ИП 212-43	100,10	3150
3	ДИП-34АВТ (ИП 212-34АВТ)	105,66	3150
4	НІPERloTS1	78,33	2500/5000
5	ИП 212-50М	104,64	2500

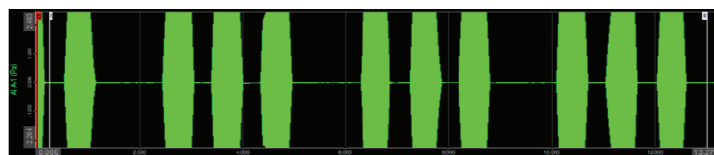
Распределение звукового давления для каждого из пяти пожарных извещателей показано на рис. 5.



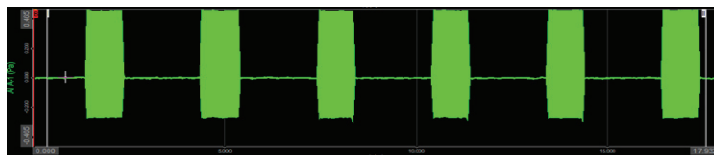
а)



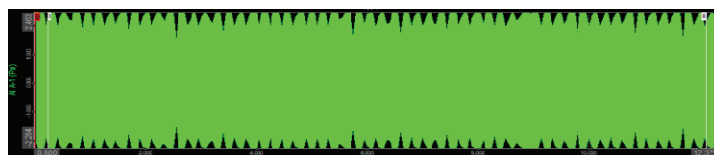
б)



в)



г)



д)

Рис. 5. Зависимости звукового давления от времени для извещателей, №: а – 1; б – 2; в – 3; г – 4; д – 5

Опрос фокус-группы

В данном исследовании в дополнение к экспериментальному анализу испытуемых объектов в акустической лаборатории проведен субъективный.

Часть процесса субъективного анализа основана на процессе представления испытуемых объектов предварительно отобранной фокус-группе. Субъективные оценки участников эксперимента объединяются, чтобы сформировать оценку для каждого из тестируемых звуков. Наиболее часто для измерения уровня предпочтения звуков используется метод семантического дифференциала, введенного в психологические исследования Чарльзом Осгудом (*англ.* Charles E. Osgood) в 1952 году [9], который обосновывал использование трех базисных оценочных семи-балльных шкал.

Для эксперимента на основе метода семантического дифференциала выбрана шкала, представленная в табл. 2.

Для данного эксперимента была подобрана группа из 20 человек. Участникам эксперимента предлагалось провести оценку испытуемых объектов по оценочной шкале. Результатом эксперимента по методу семантического дифференциала стало усредненное значение оценок для каждого объекта (табл. 3).

Таблица 2

Оценочные шкалы

Параметр	Оценочная шкала	Обоснование предела	
		нижний	верхний
Раздражительность сигнала	0...10	Совсем не раздражает	Сильная раздражительность
Громкость звука		Тихо	Очень громко

Таблица 3

Результаты субъективного анализа

Показатель	Пожарный извещатель, номер*				
	1	2	3	4	5
Раздражительность сигнала	7,45	6,75	8,30	2,45	8,10
Громкость звука	7,10	7,00	9,00	2,75	8,50
Сумма баллов по раздражительности и громкости	14,55	13,75	17,30	5,20	16,60

*Номера и названия извещателей соответствуют указанным в табл. 1

Результаты по громкости после проведенных исследований

Пожарный извещатель		Громкость звука по результатам субъективного анализа (усредненное значение по 10-ти бальной шкале)	Максимальный уровень звука по результатам объективного анализа, дБА
номер	название		
1	ИПД-3.4М	7,10	99,91
2	ИП 212-43	7,00	100,10
3	ДИП-34АВТ (ИП 212-34АВТ)	9,00	105,66
4	НІРЕРІоТS1	2,75	78,33
5	ИП 212-50М	8,50	104,64

Результаты исследования и их обсуждение

Сравнительная сводка результатов по громкости после экспериментального исследования и опроса фокус-группы представлена в табл. 4.

По результатам можно сделать вывод, что распределение баллов отобранной группой людей соответствует распределению уровней звука для каждого пожарного извещателя. Так, самым громким выбран объект № 3, которому соответствует максимальный уровень звука, равный 105,66 дБА; самым тихим пожарным извещателем, по мнению людей, – объект № 4 с минимальным уровнем звука 78,33 дБА.

Эксперимент по методу семантического дифференциала показал, что самым раздражительным стал пожарный извещатель № 3, звуковой сигнал которого имеет стандартизированный вид (см. рис. 5, в); менее раздражительным – № 4 с самым слабым распределением звукового давления (см. рис. 5, д).

Заключение

Для оценки восприятия людьми сигналов тревоги проведены объективный и субъективный анализы. Следует отметить соответствие данных экспериментального исследования уровней звука различных извещателей с результатами субъективного анализа. Наибольшими эффектами обладают дымовые пожарные извещатели ИП 212-50М и ДИП-34АВТ. Сумма баллов по результатам субъективного анализа для данных объектов, различалась менее, чем в 1 балл (см. табл. 3). У данных извещателей практически одинаковый максимальный уровень звукового давления.

Опыты показали, что восприятие человеком громкости звука напрямую зависит от полученного экспериментальным путем уровня звука. На раздражительность сигнала у человека влияет распределение уровня звукового давления по времени. Таким образом, реакция людей на сигнал пожарной тревоги увеличивается с повышением уровня звука и мощности звукового сигнала. Быстрая реакция людей на сигнал пожарной тревоги

уменьшит время эвакуации и, как следствие, увеличит эффективность проведения мероприятий, направленных на уменьшение риска возникновения чрезвычайных ситуаций и сохранение здоровья людей.

На основе проведенного исследования составлен рейтинг протестированных пожарных извещателей. Данные рейтинга получены в результате суммирования оценок фокус-группы. По совокупности оцениваемых параметров, а именно громкости и раздражительности, полученная максимальная оценка соответствует первому месту, минимальная – последнему. В итоге, места распределились следующим образом: 1 – ДИП-34АВТ (ИП 212-34АВТ); 2 – ИП 212-50М; 3 – ИПД-3.4М; 4 – ИП 212-43; 5 – HIPERloTS1.

Список литературы

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федеральный закон РФ от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ. – Текст : электронный // КонсультантПлюс. – URL : http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/ (дата обращения: 11.05.2022).

2. СП 3.13130.2009 Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. – Введ. 2009-05-01. – М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. – 10 с.

3. НПБ 104-03 Нормы пожарной безопасности «Системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожарах в зданиях и сооружениях» : Приложение к приказу МЧС РФ от 20 июня 2003 г. № 323. – Текст : электронный // Гарант. – URL : <https://base.garant.ru/186066/53f89421bbdaf741eb2d1ecc4ddb4c33/> (дата обращения: 11.05.2022).

4. NFPA 72 (National Fire Alarm and Signaling Code). – URL : <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards> (дата обращения: 10.11.2021).

5. Щипицын, С. М. Системы оповещения и управления эвакуацией. Требования и рекомендации. – Текст : электронный / С. М. Щипицын // Системы безопасности. – 2008. – № 6. – С. 146 – 162. – URL : <http://secuteck.ru/articles2/OPS/sistemi-opovescheniya-i-uravleniya-evakuacii> (дата обращения: 10.11.2021).

6. Стольникова, Л. Г. Имитационная модель эвакуации людей из здания в случае пожара / Л. Г. Стольникова, А. В. Матвеев // Теоретические и прикладные вопросы комплексной безопасности : материалы I Междунар. науч.-практ. конф., 28 марта 2018 г., Санкт-Петербург. – СПб., 2018. – С. 81 – 86.

7. ГОСТ ISO 3745–2014 Акустика. Определение уровней звуковой мощности и звуковой энергии источников шума по звуковому давлению. Точные методы для заглушенных и полузаглушенных камер. – Взамен ГОСТ 31273–2003 ; введ. 2015-11-01. – М. : Стандартинформ, 2015. – 58 с.

8. ГОСТ Р 53188.1–2019 Государственная система обеспечения единства измерений. Шумомеры. Часть 1. Технические требования. – Введ. 2019-12-01. – М. : Стандартинформ, 2019. – 45 с.

9. Осгуд, Ч. Э. Природа и измерение значений / Ч. Э. Осгуд // Психологический компонент. – 1952. – № 49. – С. 197 – 237.

References

1. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/ (accessed 11 May 2022).

2. SP 3.13130.2009 *Sistemy protivopozharnoy zashchity. Sistema opoveshcheniya i upravleniya evakuatsiyey lyudey pri pozhare* [SP 3.13130.2009 Fire protection systems. Fire warning and evacuation control system], Moscow: FGU VNIPO MCHS Rossii, 2009, 10 p. (In Russ.)
 3. <https://base.garant.ru/186066/53f89421bbdaf741eb2d1ecc4ddb4c33/> (accessed 11 May 2022).
 4. <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards> (accessed 10 November 2021).
 5. <http://secuteck.ru/articles2/OPS/sistemi-opovescheniya-i-ypravleniya-evakuaciei> (accessed 10 November 2021).
 6. Stol'nikova L.G., Matveyev A.V. *Teoreticheskiye i prikladnyye voprosy kompleksnoy bezopasnosti* [Theoretical and applied issues of integrated security], Proceedings of the I International Scientific and Practical Conference, 28 March, 2018, St. Petersburg, 2018, pp. 81-86. (In Russ.)
 7. GOST ISO 3745-2014 *Akustika. Opredeleniye urovney zvukovoy moshchnosti i zvukovoy energii istochnikov shuma po zvukovomu davleniyu. Tochnyye metody dlya zaglushennykh i poluzaglushennykh kamer* [GOST ISO 3745-2014 Acoustics. Determination of sound power and sound energy levels of noise sources by sound pressure. Accurate Methods for Silenced and Semi-Silenced Chambers], Moscow: Standartinform, 2015, 58 p. (In Russ.)
 8. GOST R 53188.1-2019 *Gosudarstvennaya sistema obespecheniya yedinstva izmereniy. Shumomery. Chast' 1. Tekhnicheskiye trebovaniya* [GOST R 53188.1-2019 State system for ensuring the uniformity of measurements. Sound level meters. Part 1. Technical requirements], Moscow: Standartinform, 2019, 45 p. (In Russ.)
 9. Osgud Ch.E. [Nature and measurement of meanings], *Psikhologicheskiy component* [Psychological component], 1952, no. 49, pp. 197-237. (In Russ.)
-

The Study of Human Audibility and Perception of Alarm Signals during Fire

D. A. Korobova, O. A. Ivanova

*Bauman Moscow State Technical University
(National Research University), Moscow, Russia*

Keywords: sound power; sound signal; fire alarm; fire detector; sound level; evacuation of people.

Abstract: The factors influencing people's perception of fire alarm signals were studied. The effectiveness of the sound signaling of fire detectors in a semi-silenced chamber of the acoustic laboratory of Bauman Moscow State Technical University (National Research University) was assessed, as well as on the basis of an experiment conducted with selected group of people. The parameters that affect the speed of people's response to alarm signals are determined.

© Д. А. Коробова, О. А. Иванова, 2022