

М.С. Кузнецов¹, С.М. Логаткин^{1,2}, А.Е. Голованов¹

ХАРАКТЕРИСТИКА И ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ЗВУКОВОГО СИГНАЛА СПЕЦИАЛЬНОГО АКУСТИЧЕСКОГО СРЕДСТВА НА ОРГАН СЛУХА И ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЧЕЛОВЕКА

¹ Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова (Россия, Санкт-Петербург, ул. Акад. Лебедева, д. 6);² Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины (Россия, Санкт-Петербург, ул. Лесопарковая, д. 4)

Актуальность. Внедрение специальных акустических средств в работу силовых структур обуславливает необходимость исследования характеристик издаваемых ими звуковых сигналов и проведения медико-биологической оценки их воздействия на организм человека.

Цель – изучить характеристики влияния звукового сигнала специального акустического средства на орган слуха и психофизиологические показатели человека.

Методология. В лабораторных условиях проведены исследование характеристик специального звукового сигнала, эксперименты с участием 10 добровольцев при уровнях звука 127 дБА и экспозиции 3 мин ($L_{EX,8h} = 105$ дБА), 110 дБА при экспозиции 20 мин ($L_{EX,8h} = 96,2$ дБА). Субъективное состояние самочувствия, активности и настроения оценивали по тесту САН, тревожности – по методике Спилберга–Ханина. В тексте представлены медианы, 25-й и 75-й квартили ($Me [Q_{25}; Q_{75}]$), парное внутригрупповое сравнение показателей проводили при помощи критерия Вилкоксона для зависимых выборок.

Результаты и их анализ. Установлено, что исследуемый звуковой сигнал относится к тональным высокочастотным шумам с максимальным уровнем звукового давления преимущественно на среднегеометрических частотах $1/3$ -октавных полос 2500 и 3150 Гц, имеет сложную структуру, меняющуюся во времени амплитуду отдельных звуковых составляющих (10 раз/с). Воздействие изученного звукового сигнала с уровнем звука 127 дБА в течение 3 мин приводило к повышению порогов слуха на частотах 4 ($p = 0,012$) и 6 кГц ($p = 0,01$). Выраженного изменения функционального состояния организма добровольцев не отмечалось. Восстановление порогов слуха, как и значений психофизиологических показателей до исходных значений, произошло у всех добровольцев через 24 ч после исследования. После воздействия звукового сигнала с уровнем звука 110 дБА в течение 20 мин, напротив, отмечено существенное ухудшение общего самочувствия у испытуемых, выразившееся в появлении головной боли, состоянии апатии, нарушении сна. Отмечено также снижение показателей самочувствия, активности и настроения, повышение ситуативной и личностной тревожности. Отмечалось выраженное влияние на слуховой анализатор, что проявлялось повышением порогов слухового восприятия более 40 дБ на частотах 3, 4 и 6 кГц с задержкой сроков восстановления слуха до 5 сут.

Заключение. Исследуемый звуковой сигнал по спектральному составу следует отнести к тональным высокочастотным шумам с максимальным уровнем звукового давления на среднегеометрических частотах $1/3$ -октавных полос 2000 и 3150 Гц. Он имеет выраженную пульсацию, меняющуюся во времени амплитуду отдельных звуковых составляющих. Применительно к воздействию звукового сигнала специальных акустических средств недостаточно иметь только данные об эквивалентном уровне звука. Следует учитывать и длительность воздействия. В работе установлен более выраженный эффект воздействия на организм добровольцев при меньшем значении $L_{EX,8h}$.

Ключевые слова: специальный звуковой сигнал, безопасность, уровень звука, воздействие, добровольцы, специальные акустические средства

Введение

В настоящее время высокоинтенсивное акустическое воздействие на организм человека рассматривается как эффективное средство

для борьбы с народными беспорядками и активно внедряется в работу силовых структур [4, 5].

Применение специальных акустических средств имеет цель быстро и эффективно

✉ Кузнецов Максим Сергеевич – д-р мед. наук, препод. каф. оториноларингологии, Воен.-мед. акад. им. С.М. Кирова (Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Акад. Лебедева, д. 6), ORCID: 0000- 0002- 5057- 3486, e-mail: mskuznecov2@mail.ru;

Логаткин Станислав Михайлович – д-р мед. наук доц., ст. науч. сотр., Гос. науч.- исслед. испытат. ин-т воен. медицины (Россия, 195043, Санкт-Петербург, ул. Лесопарковая, д. 4). ORCID: 0000- 0002- 9954- 2787, e-mail: logatkin.stanislav@yandex.ru;

Голованов Андрей Евгеньевич – д-р мед. наук доц., нач. каф. оториноларингологии, Воен.-мед. акад. им. С.М. Кирова (Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Акад. Лебедева, д. 6), ORCID: 0000- 0001- 7277- 103X, e-mail: lor_vma@mail.ru

пресечь противоправные действия групп лиц, а также защитить личный состав силовых подразделений при решении служебных задач. Эффекты воздействия звука на человека зависят от частоты, интенсивности и продолжительности, а также от индивидуальной чувствительности органа слуха [13].

Отсутствие грубого повреждения органов и систем при кратковременном акустическом воздействии специальных акустических средств (в основном звуковые пушки и оглушающие гранаты) позволяет отнести их к «оружию нелетального действия» [13] и рассматривать как перспективный инструмент для решения служебных задач полиции и армии. Информация о медико-биологических эффектах специальных акустических средств недостаточно отражена в современной научной литературе, а имеющиеся публикации в средствах массовой информации являются научно необоснованными [9].

Звуковые сигналы (ЗС) с высоким уровнем звука часто применяются в качестве охранной сигнализации, обладая оглушающим и отпугивающим свойством, причем как в государственных учреждениях, так и в объектах недвижимости физических лиц [8].

Чрезмерное акустическое воздействие ЗС специальных акустических средств на организм человека может нести угрозу здоровью, в частности, приводить к развитию патологии органа слуха. Такому же риску подвергаются и операторы, эксплуатирующие это оборудование, а также сотрудники силовых ведомств. Таким образом, актуальным научным направлением является изучение эффектов действия ЗС, создаваемых специальными акустическими средствами, на функциональное состояние слухового анализатора и организм в целом, а также нормирование их в соответствии с национальным законодательством.

Цель – изучить характеристики влияния ЗС специального акустического средства на орган слуха и психофизиологические показатели человека.

Материал и методы

Источником специальных ЗС являлся комплект звукового оборудования, состоящий из аппарата питания, акустического излучателя и блока генератора, создающий акустические колебания с уровнем не менее 127 дБ в частотном диапазоне от 250 до 20 000 Гц. При исследовании в помещении излучатель звукового оборудования устанавливали на удалении 0,5 м от стены и на высоте 1 м от пола.

Уровень звука определяли с использованием стандартного частотного фильтра «А» шумомеров типа 2230 фирмы «Брюль и Кьер» (Дания) и шумомера-виброметра, анализатора спектра I класса точности типа «ЭКОФИЗИКА-110А». С помощью указанных средств измеряли значения показателей:

- эквивалентный уровень звука с частотной коррекцией А за период наблюдения Т (L_p, Aeq, T), дБА;

- эквивалентный уровень звукового давления (на линейной частотной характеристике) за период наблюдения Т (L_p, eq, T), дБ;

- уровень звука с частотной коррекцией А и временной характеристикой Fast (L_p, A), дБА;

- уровень звука в $1/3$ -октавных полосах со среднегеометрическими частотами от 25 до 20 000 Гц.

Форму и спектральные характеристики ЗС изучали с применением компьютерного осциллографа и программы Power Graph.

При воздействии акустических факторов класс (подкласс) условий труда определялся в соответствии с требованиями Федерального закона от 28.12.2013 г. № 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда» и приказа Минтруда России от 21.11.2023 г. № 817н «Об утверждении методики проведения специальной оценки условий труда, классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению» по превышению эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день ($L_{EX,8h}$) над допустимым.

Обследовали 10 добровольцев – практически здоровых мужчин в возрасте от 21 до 31 года, не имеющих нарушения функции органа слуха по результатам медицинского обследования. Добровольцы были застрахованы, оплату их труда производили по индивидуальным договорам. Добровольное согласие на участие в исследовании в письменной форме подтверждалось подписью добровольца в форме информированного согласия. Необходимо отметить, что предварительно проводилось исследование влияния звуковых сигналов на слуховой анализатор экспериментальных животных, которые обладают большей чувствительностью к акустическому воздействию, чем человек [3]. Отсутствие риска получения грубой патологии органа слуха человека позволило использовать данный сигнал для оценки влияния на слуховую функцию добровольцев.

Обследуемых лиц разделили на 2 группы по 5 человек в каждой: в 1-й – уровень звука сигнала специальных акустических средств составлял 127 дБА при экспозиции 3 мин ($L_{EX,8h} = 105$ дБА); во 2-й – уровень звука составлял 110 дБА при экспозиции 20 мин ($L_{EX,8h} = 96,2$ дБА). Эти характеристики создавали условия труда как вредные III степени (подкласс 3.3).

Добровольцам до акустического воздействия, сразу после, а также через 24 и 72 ч проводили: оценку жалоб, отоскопической картины, исследование слуха шепотной речью, выполняли аудиологическое обследование, включающее тональную пороговую аудиометрию и оценку отоакустической эмиссии на частоте продукта искажения. Применение этих методик, как показано в ряде научных работ, обладающих высокой информативностью, позволяет обнаружить ранние нарушения слуховой функции после высокоинтенсивных шумовых воздействий [10].

Помимо этого, осуществляли исследование психофизиологических показателей и функционального состояния организма добровольцев с использованием комплекса «Нейрософт-Психотест» (Россия), самочувствия, активности и настроения по тесту САН, тревожности – по методике Спилберга-Ханина;

Тональную пороговую аудиометрию выполняли на клиническом аудиометре АД-226 (Дания). Объективную оценку состояния слухового анализатора по оценке отоакустической эмиссии на частоте продукта искажения проводили с использованием системы аудиологического скрининга «Аудио-СМАРТ» (Россия).

В качестве статистических характеристик использовали медиану, 25-й и 75-й квартили – ($Me [Q_{25}; Q_{75}]$). Вследствие небольшого числа наблюдений парное внутригрупповое сравнение показателей производили по критерию Вилкоксона для зависимых выборок. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты и их анализ

Первоначально для оценки спектрального состава, частного диапазона и уровня звукового давления, воспроизводимых ЗС в помещении объемом около 150 м^3 , были проведены измерения в режиме работы звукового оборудования на максимальной мощности. Эквивалентные по энергии уровни звука (L_p , eq, T) составили: 1 м – 133,6–135,1 дБ; 3 м – 124,2–124,7 дБ; 7 м – 119,6–120,8 дБ. Эквивалентный

уровень звука при частотной коррекции А получен примерно на 1 дБ выше, что косвенно свидетельствует о наличии в спектре сигналов высокочастотных составляющих шума. По мере удаления от излучателя уровни звука снижались на расстоянии 3 м примерно на 10 дБ (в 3 раза по абсолютной величине давления) и на расстоянии 7 м – до 20 дБ (в 10 раз по величине давления).

Дополнительно на расстоянии 1 м от источника была также проведена оценка распределения уровня звукового давления в $1/3$ -октавных полосах со среднегеометрическими частотами. Максимальный уровень звукового давления ЗС располагался в $1/3$ -октавной полосе 3150 Гц (от 124,9 до 127,4 дБ). Уровни звукового давления исследуемого ЗС более 90 дБ зафиксированы и в полосах частот от 8,0 до 20,0 кГц, что позволяет охарактеризовать его как высокочастотный.

Специфические особенности ЗС, полученные по программе Power Graph (рис. 1), показаны на спектрограмме и во времени – на экране компьютерного осциллографа (рис. 2).

Из приведенной спектрограммы (см. рис. 1) видно, что сигнал содержал три выраженных пика на частотах 3141, 3153 и 3161 Гц с амплитудой от 1,5 до 4 В. На осциллограмме (см. рис. 2) исследуемый ЗС характеризовался определенной периодичностью. При этом на протяжении 70 мс он шел с амплитудой 5 В, а далее – с меньшей амплитудой (0,7 В) в течение 30 мс. Таким образом, он имел пульсирующий характер с частотой изменения амплитуды сигнала 10 раз/с, что может оказать влияние на специфику ответной реакции организма человека при воздействии шума.

Надо отметить, что столь выраженное изменение амплитуды ЗС ухом человека не воспринимается. Известно, что ухо человека способно определять число ЗС при частоте их следования более 35 мс. При меньших интервалах времени чередующиеся отдельные ЗС не дифференцируются и воспринимаются как непрерывный звук [2]. В данном же случае изменение амплитуды отдельных составляющих ЗС с частотой 10 Гц и наличие пульсации определялись слуховым анализатором человека.

Во время проведения исследования добровольцы жалоб не предъявляли, несмотря на предупреждение до начала исследования о необходимости сообщать о них в случае невыносимых ощущений. В процессе наблюдения за добровольцами во время воздействия ЗС отклонений в их поведении не отмечалось. Они были активны, переговаривались между

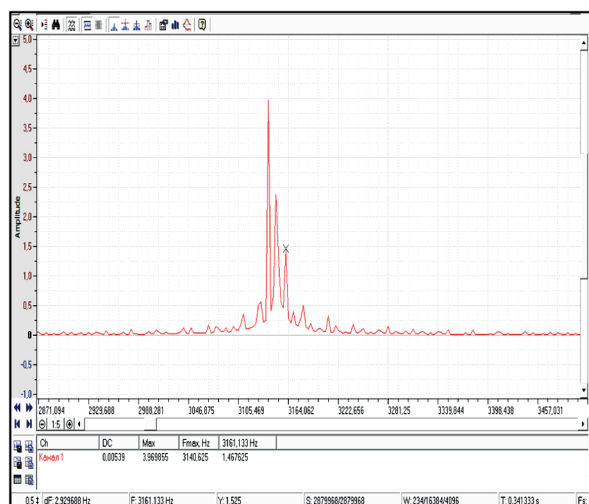


Рис. 1. Спектрограмма звукового сигнала (уровень входного сигнала ± 5 В, 48 кГц, 16 bit).

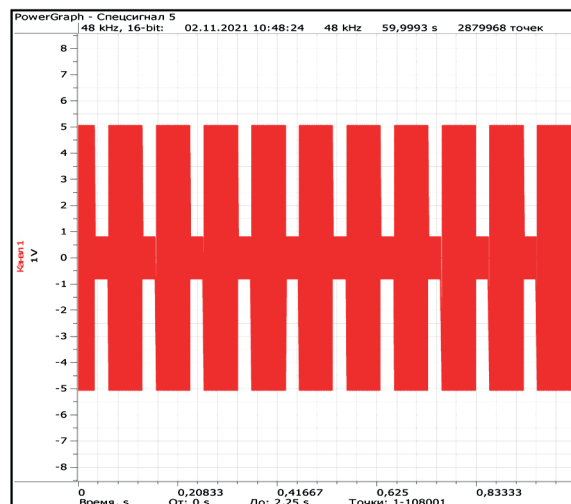


Рис. 2. Фрагмент записи звукового сигнала на компьютерном осциллографе в программе PowerGraph.

собой, некоторые пользовались мобильными телефонами.

Все обследуемые 1-й группы после акустического воздействия ЗС предъявляли жалобы на наличие высокочастотного звона, ощущение заложенности, пульсации в ушах, которое проходило, с их слов, в течение от 3 до 4 ч после «озвучивания». При эндоскопическом осмотре барабанных перепонок в 2 случаях наблюдалась инъецированность сосудов вдоль рукоятки молоточка, в остальных – нормальная отоскопическая картина. Восприятие шепотной речи было в пределах нормы у всех обследуемых, что можно объяснить особенностями ее частотного диапазона, который лежит в области частот от 500 до 3000 Гц.

На тональной пороговой аудиограмме через 5 мин после акустического воздействия (табл. 1) также наблюдалось статистически значимое повышение порогов слуха на частотах 4 ($p = 0,012$) и 6 кГц ($p = 0,01$). Восстановление порогов слуха до исходных значений произошло у всех добровольцев через 24 ч после обследования. Наиболее выраженное повышение порога слуха после воздействия сигнала наблюдалось на частоте 6 кГц (до 28 [19; 30] дБ), а повышение порога слуха на частоте 8 кГц было статистически недостоверно.

При оценке динамики показателей отоакустической эмиссии до и после акустического воздействия ЗС наблюдалось восстановление их значений до фоновых через 24 ч. Статистически значимые изменения состояния слухового анализатора по оценке отоакустической эмиссии после воздействия сигнала отмечались на всех исследуемых частотах (1,5, 2, 1, 3,3 и 4,4 кГц). Наиболее выраженное угнетение показателей отмечалось на частоте 4,2 кГц ($p = 0,033$).

Данные, полученные при исследовании психофизиологических показателей в 1-й группе, показывают, что в результате воздействия ЗС специальных акустических средств в течение 3 мин выраженного изменения функционального состояния организма у добровольцев не происходит. Показатели ситуативной и личностной тревожности значимо не менялись. Отмечено лишь существенное снижение показателей субъективного состояния – самочувствия и активности после воздействия ЗС (табл. 2). Через 24 ч после воздействия наблюдалось их восстановление до исходных значений.

Обследуемые 2-й группы после акустического воздействия ЗС предъявляли такие же жалобы, как и 1-й. При отоскопии у большин-

Таблица 1

Динамика показателей тональной пороговой аудиометрии в 1-й группе, Ме [Q_{25} ; Q_{75}], кГц

Период	Порог слуха (дБ) в полосах частот							
	0,25	0,5	1	2	3	4	6	8
До	10 [5; 15]	10 [9; 10]	5 [5; 5]	5 [5; 5]	5 [5; 5]	5 [5; 6]	13 [5; 21]	10 [5; 20]
После	10 [5; 11]	5 [5; 10]	5 [5; 10]	5 [5; 5]	5 [5; 6]	10 [5; 29] $p = 0,010$	28 [19; 30] $p = 0,012$	18 [9; 26]
Через 24 ч	10 [9; 10]	10 [5; 10]	5 [5; 10]	5 [5; 5]	5 [5; 5]	5 [5; 6]	15 [5; 20]	10 [5; 16]

Таблица 2

Оценка субъективного состояния в 1-й группе по тесту «САН», Ме [Q₂₅; Q₇₅], балл

Показатель	До воздействия (1)	После воздействия (2)	Через 24 ч (3)	p =
Самочувствие	6,7 [6,0; 6,8]	4,3 [3,9; 4,9]	6,7 [6,1; 7,0]	1–2 0,02
Активность	6,4 [6,1; 6,7]	4,8 [4,1; 5,3]	6,1 [5,5; 7,0]	1–2 0,02
Настроение	6,6 [6,0; 6,8]	6,7 [5,5; 6,7]	6,8 [5,9; 6,9]	

ства испытателей наблюдалась нормальная картина. У 2 обследуемых отмечалась инъецированность сосудов барабанной перепонки по ходу рукоятки молоточка.

При исследовании слуха шепотной речью у 4 добровольцев 2-й группы отмечалось снижение ее восприятия до 5 м на оба уха. Восстановление восприятия шепотной речи до 6 м наблюдалось через 24 ч после воздействия.

При анализе результатов тональной пороговой аудиометрии установлено, что повышение порогов слухового восприятия на частотах от 0,25 до 3 кГц было незначимо ($p > 0,05$) и имело наибольший уровень на частоте 3 кГц сразу после воздействия ЗС. Восстановление порогов слуха до нормальных значений на указанных частотах произошло уже через 24 ч после шумового воздействия (табл. 3). Существенное повышение порогов слуха после шумового воздействия наблюдалось на частотах 4, 6 и 8 кГц ($p = 0,03$), до 45, 43 и 25 дБ соответственно. Восстановление порогов слуха на данных частотах произошло только через 72 ч у 2 добровольцев и через 5 сут – у остальных 3 добровольцев.

При анализе данных отоакустической эмиссии наблюдались более выраженные изменения порогов слуха на высоких частотах, что согласуется с результатами, полученными при проведении тональной пороговой аудио-

метрии. По сравнению со значениями оценки отоакустической эмиссии до воздействия полученные результаты были статистически незначимыми. Необходимо также отметить и большой разброс значений, связанный, по нашему мнению, с различной индивидуальной чувствительностью органа слуха обследуемых к действию шума.

Следует отметить, что в случае обращения человека, подвергшегося воздействию ЗС с указанным эквивалентным уровнем и имеющего выявленную симптоматику, несмотря на обратимость изменений функции органа слуха, ЛОР-специалистом может быть установлен диагноз «акустическая травма» с последующей госпитализацией для консервативного лечения [1].

Во 2-й группе по результатам теста САН (табл. 4) после воздействия сигнала установлены значимое уменьшение показателей самочувствия и активности ($p = 0,04$) и тенденция к ухудшению настроения (см. табл. 4). В целом, эти данные согласуются с жалобами добровольцев. Восстановление показателей до фоновых значений наблюдалось через 24 ч.

После воздействия специального ЗС уровень как ситуативной, так и личностной тревожности увеличился. Причем его значения в 3 случаях были больше 46 баллов, что интерпретируется как очень высокий. Через 1 сут

Таблица 3

Динамика показателей тональной пороговой аудиометрии во 2-й группе, Ме [Q₂₅; Q₇₅], кГц

Период	Порог слуха (дБ) в полосах частот							
	0,25	0,5	1	2	3	4	6	8
До	5 [5; 6]	5 [5; 6]	5 [5; 6]	5 [5; 5]	5 [5; 5]	5 [5; 6]	5, [5,0; 6,3]	5 [5; 5]
После	7 [5; 15]	10 [5; 11]	10 [5; 11]	5 [5; 10]	28 [5; 55]	45 [29; 53] $p = 0,03$	43 [37; 46] $p = 0,03$	25 [20; 31] $p = 0,03$
Через 24 ч	5 [5; 10]	5 [5; 10]	5 [5; 10]	5 [5; 6]	5 [5; 25]	26 [5; 31] $p = 0,03$	25 [15; 33] $p = 0,03$	10 [5; 15]
Через 72 ч	5 [5; 6]	5 [5; 5]	5 [5; 5]	5 [5; 6]	5 [5; 5]	13 [5; 18]	15 [10; 25] $p = 0,03$	5 [5; 16]

Таблица 4

Оценка субъективного состояния во 2-й группе по тесту САН, Ме [Q₂₅; Q₇₅], балл

Показатель	До воздействия (1)	После воздействия (2)	Через 24 ч (3)	p =
Самочувствие	5,5 [4,9; 6,1]	3,8 [2,9; 5,4]	5,3 [4,7; 5,8]	1–2 0,04; 1–3 0,04
Активность	4,9 [4,4; 5,8]	3,3 [3,2; 3,6]	4,8 [4,3; 5,4]	1–2 0,04
Настроение	5,8 [5,2; 6,2]	4,2 [3,1; 5,5]	5,5 [5,0; 6,1]	

после акустического воздействия показатели уровня тревожности восстановились до фоновых значений.

Таким образом, во 2-й группе в отличие от 1-й 20-минутное воздействие звукового сигнала относительно небольшого уровня привело к достаточно выраженным изменениям общего самочувствия, проявляющимся нарушением сна и настроения (подавленность), появлению жалоб на головную боль, шум в ушах высокочастотного характера с наличием остаточных явлений этого воздействия в последующем, что представляет высокий риск для здоровья человека.

Наличие данных отрицательных эффектов у добровольцев связываем с особенностями звукового сигнала, а именно, его «пульсирующим» характером (меняющейся тональностью во времени) и действием на центральную нервную систему.

Специальный ЗС с $L_{EX,8h}$, равный 96,2 дБА (уровень звука 110 дБА на протяжении 20 мин), в отличие от сигнала с уровнем звука 127 дБА при экспозиции 3 мин ($L_{EX,8h} = 105$ дБА) вопреки ожиданию вызвал существенное ухудшение общего самочувствия у испытуемых, выразившееся в появлении головной боли, состоянии апатии, нарушении сна. Отмечено также снижение показателей самочувствия, активности и настроения по тесту САН, повышение ситуативной и личностной тревожности. Отмечалось выраженное влияние на слуховой анализатор, что проявлялось жалобами на ощущение шума и заложенности в ушах, повышение порогов слухового восприятия более 40 дБ на частотах 3, 4 и 6 кГц, задержку сроков восстановления слуха до 3 сут. Все это не позволяет рассматривать данное воздействие как безопасное. Показатели отоакустической эмиссии на частоте продукта искажения соответствовали изменениям на аудиограммах и имели схожую динамику восстановления. Важно отметить, что имеющееся у добровольцев-исследователей после шумового воздействия повышение порогов слуха многими авторами интерпретируется как острая акустическая травма и требует проведения медикаментозного лечения [12].

Не подлежит сомнению, что для производственных условий и ежедневной работы (5 дней/нед) указанный $L_{EX,8h}$ достаточно высок

(класс 3.3 – вредный III степени). В таких условиях могут возникнуть профессиональные заболевания в процессе трудовой деятельности.

Даже если отнести специальный звуковой сигнал к тональным шумам, то его нормирование имеет общий подход с импульсным шумом (и в том, и другом случае нормативный эквивалентный уровень звука уменьшается на 5 дБА).

Именно на эквивалентный уровень импульсного шума для эпизодического воздействия (применительно к условиям военного труда) в работе шла ориентация при планировании экспериментальных исследований. Причем, согласно научным публикациям [6] и собственным наблюдениям [7], действие импульсного шума с $L_{EX,8h}$, равным 96,2 дБА, не сопровождалось ухудшением общего самочувствия у здоровых людей. Имело место практически изолированное действие шума на слуховой анализатор. Только у лиц с повышенной индивидуальной чувствительностью к действию импульсного шума отмечалась задержка сроков восстановления слуха свыше 1 сут (в 15–20 % случаев).

Очевидно, что специальный ЗС обладает особенностями воздействия на организм человека по сравнению с производственными шумами. Вероятно, это обусловлено не самими тональными составляющими высокочастотного звукового диапазона, а частотой их смены в структуре сигнала (10 раз/с).

Выводы

1. Исследуемый звуковой сигнал специальных акустических средств по спектральному составу следует отнести к тональным высокочастотным шумам с максимальным уровнем звукового давления на среднегеометрических частотах $1/3$ -октавных полос 2000 и 3150 Гц. Он имеет выраженную пульсацию, меняющуюся во времени амплитуду отдельных звуковых составляющих.

2. На основании проведенных исследований, можно прийти к заключению, что применительно к воздействию звукового сигнала специальных акустических средств недостаточно иметь только данные об эквивалентном уровне звука. Следует учитывать и длительность воздействия. В работе установлен более выраженный эффект воздействия на организм добровольцев при меньшем значении $L_{EX,8h}$.

Литература

1. Васильев А.И., Нестеренко А.В. Акустическая травма и острый кохлеарный неврит у военнослужащих // Воен.-мед. журн. 1990. № 2. С. 44–45.
2. Вологдин Э.И. Слух и восприятие звука. СПб. : Факультет ДВО, 2004. 36 с.

3. Дворянчиков В.В., Кузнецов М.С., Логаткин С.М., Голованов А.Е. Оценка воздействия специально-го звукового сигнала на функциональное состояние органа слуха (экспериментальное исследование) // Мед. совет. 2022. № 20. С. 16–21. DOI: 10.21518/2079-701X-2022-16-20-16-21.
4. Кузнецов М.С., Логаткин С.М., Дворянчиков В.В. Специальные акустические средства силовых структур: краткая история вопроса, медико-биологические эффекты при воздействии на орган слуха // Мед.-биол. и соц.-психол. пробл. безопасности в чрезв. ситуациях. 2021. № 3. С. 83–90. DOI: 10.25016/2541-7487-2021-0-3-83-90.
5. Селиванов В.В., Левин Д.П. Оружие нелетального действия. М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. 360 с.
6. Суворов Г.А., Лихницкий А.М. Импульсный шум и его влияние на организм человека. Л. : Медицина, 1975. 208 с.
7. Рыжиков М.А., Кузнецов С.М., Логаткин С.М. [и др.]. Гигиеническая характеристика импульсного шума, возникающего при стрельбе из стрелкового оружия // Вестн. Рос. воен.-мед. акад. 2016. № 1 (53). С. 149–153.
8. Хомяков Э.Г. Специальные средства правоохранительных органов. Ижевск : Удмуртский ун-т, 2020. 124 с.
9. Altmann J. Acoustic weapons – a prospective assessment // Science and Global Security. Vol. 9, N 3. 2002. P. 165–234. DOI: 10.1080/08929880108426495.
10. Campos U.P. Correlation between DPOAE I/O functions and pure-tone thresholds // Braz. J. Otorhinolaryngol. 2011. Vol. 77, N 6. P. 754–760. DOI: 10.1590/S1808-86942011000600012.
11. Davison N. «Non-lethal» weapons. Basingstoke: Palgrave Macmillan, 2009. P. 186–205.
12. Hertzano R., Lipford E.L., Depireux D. Noise: acoustic trauma to the inner ear // Otolaryngol. Clin. North. Am. 2020. Vol. 53, N 4. P. 531–542. DOI: 10.1016/j.otc.2020.03.008.
13. Vinokur R. Acoustic noise as a nonlethal weapon // Sound And Vibration. 2004. Vol. 36, N 10. P. 19–23.

Поступила: 12.12.2024 г.

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией статьи.

Участие авторов: М.С. Кузнецов – разработка концепции и дизайна исследования, сбор первичных данных, статистическая обработка результатов, написание первого варианта статьи; С.М. Логаткин – разработка концепции и дизайна исследования, проведение эксперимента, сбор первичных данных, статистическая обработка результатов, редактирование окончательного варианта статьи; А.Е. Голованов – редактирование окончательного варианта статьи.

Для цитирования. Кузнецов М.С., Логаткин С.М., Голованов А.Е. Характеристика и особенности влияния звукового сигнала специального акустического средства на орган слуха и психофизиологические показатели человека // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2025. № 1. С. 73–80. DOI: 10.25016/2541-7487-2025-0-1-73-80.

Specialized acoustic devices and sound signal parameters affecting Individual hearing and psychophysiological health

Kuznecov M.S.¹, Logatkin S.M.^{1,2}, Golovanov A.E.¹

¹ Kirov Military Medical Academy (6, Academica Lebedeva Str., St. Petersburg, 194044, Russia);

² State Scientific Research Testing Institute military medicine (4, Lesoparkovaya Str., St. Petersburg, 195043, Russia)

✉ Maxim Sergeevich Kuznetsov – Dr. Med. Sci., Teacher of the Department of Otorhinolaryngology, Kirov Military Medical Academy (6, Academica Lebedeva Str., St. Petersburg, 194044, Russia), ORCID: 0000-0002-5057-3486, e-mail: mskuznecov2@mail.ru

Stanislav Mikhaylovich Logatkin – Dr. Med. Sci., Associate Prof., Senior Research Associate, State Scientific Research Testing Institute military medicine (4, Lesoparkovaya Str., St. Petersburg, 195043, Russia), ORCID: 0000-0002-9954-2787, e-mail: logatkin.stanislav@yandex.ru;

Andrei Evgenievich Golovanov – Dr. Med. Sci., Associate prof., Head of Department of Otorhinolaryngology, Kirov Military Medical Academy (6, Academica Lebedeva Str., St. Petersburg, 194044, Russia), ORCID: 0000-0001-7277-103X, e-mail: lor_vma@mail.ru

Abstract

Relevance. The integration of specialized acoustic devices into law enforcement operations justifies the need for a study and biomedical assessment of the emitted sound signal characteristics and effects with regard to human body.

The objective is to examine the characteristics and impact of a specialized acoustic device on the patient's auditory system and psychophysiology, as well as to study the characteristics and influence of the sound signal produced by a special acoustic device on the hearing ability and psychophysiological parameters.

Methods. A laboratory study was conducted to analyze a specialized audio signal. Experiments were performed with 10 volunteers at sound levels of 127 dBA with a 3-minute exposure ($L_{EX,8h} = 105$ dBA) and 110 dBA with a 20-minute exposure ($L_{EX,8h} = 96.2$ dBA). Self-reported measures of well-being, activity, and mood were assessed using the SAN test (the test name derived from the first letters of Russian words for well-being (S), activity (A), mood (N); anxiety was measured using the Spielberger-Khanin method. The data are presented as medians, the 25th and the 75th percentiles (Me [Q25; Q75]); pairwise comparisons were performed using the Wilcoxon signed rank test to examine differences within groups.

Results and Discussion. The study established that the analyzed sound signal was a tonal high-frequency noise, with maximum sound pressure concentrated in $1/3$ -octave band center frequencies at 2500 and 3150 Hz. The sound had a complex structure, with the amplitude fluctuating over time (10 times per second) for individual sound components. Exposure to the sound signal at 127 dBA for 3 minutes resulted in increased hearing thresholds at 4 kHz ($p = 0.012$) and 6 kHz ($p = 0.01$) frequencies. However, no significant changes in the overall functional state of the volunteers were observed. Hearing thresholds and psychophysiological parameters recovered to baseline in all participants within 24 hours. Conversely, exposure to a sound signal at 110 dBA for 20 minutes had a significant impact on general well-being, causing headaches, apathy, sleep disorders. Additionally, well-being, activity and positive mood measures dropped down, along with increased situational and personal anxiety. The hearing was notably affected, showing increased auditory perception thresholds exceeding 40 dB at frequencies of 3, 4, and 6 kHz; followed by a lengthy hearing recovery in up to 5 days.

Conclusion. Considering the spectral characteristics, the sound signal should be defined as tonal high-frequency noise, with a maximum sound pressure at $1/3$ -octave band frequency of 2000 and 3150 Hz. The sound exhibits pulsation, with the amplitude of particular components varying over time. The impact exerted by specialized acoustic signals should be evaluated with a focus on exposure duration, as well as the equivalent sound level. The obtained results showed pronounced impact on volunteers at lower $L_{EX,8h}$.

Keywords: specialized sound signal, safety, sound level, impact, volunteers, specialized acoustic devices

References

1. Vasil'ev A.I., Nesterenko A.V. Akusticheskaya travma i ostryi kokhlearnyi nevrit u voennosluzhashchikh [Acoustic trauma and acute cochlear neuritis in servicemen]. *Voенно-медицинский журнал* [Military medical journal]. 1990; (2):44–45. (In Russ.)
2. Vologdin E.I. Slukh i vospriyatiye zvuka [Hearing and sound perception]. St. Petersburg. 2004. 36 p. (In Russ.)
3. Dvoryanchikov V.V., Kuznetsov M.S., Logatkin S.M., Golovanov A.E. Otsenka vozdeystviya spetsial'nogo zvukovogo signala na funktsional'noe sostoyaniye organa slukha (eksperimental'noe issledovanie) [Evaluation of the impact of a special sound signal on the functional state of the hearing organ (experimental study)]. *Meditsinskii sovet* [Medical council]. 2022; (20):16–21. DOI: 10.21518/2079-701X-2022-16-20-16-21. (In Russ.)
4. Kuznetsov M.S., Logatkin S.M., Dvoryanchikov V.V. Spetsial'nye akusticheskie sredstva silovykh struktur: kratkaya istoriya voprosa, mediko-biologicheskie efekty pri vozdeystvii na organ slukha [Special acoustic devices of law enforcement agencies: a short history, medical and biological effects on the hearing organ]. *Mediko-biologicheskie i sotsial'no-psikhologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh* [Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations]. 2021; (3):83–90. DOI: 10.25016/2541-7487-2021-0-3-83-90. (In Russ.)
5. Selivanov V.V., Levin D.P. Ouzhie neletal'nogo deystviya [Weapons of non-lethal action]. 2019. 360 p. (In Russ.)
6. Suvorov G.A., Likhitskii A.M. Impul'snyi shum i ego vliyaniye na organizm cheloveka [Impulse noise and its effect on the human body]. Leningrad. 1975. 208 p. (In Russ.)
7. Ryzhikov M.A., Kuznetsov S.M., Logatkin S.M. [et al.]. Gigienicheskaya kharakteristika impul'snogo shuma, voznikayushchego pri strel'be iz strelkovogo oruzhiya [Hygienic characteristics of impulse noise during firearms shooting]. *Vestnik Rossiiskoi voенно-медицинskoi akademii* [Bulletin of Russian Military medical Academy]. 2016; (1):149–153. (In Russ.)
8. Khomyakov E.G. Spetsial'nye sredstva pravookhranitel'nykh organov [Special means of law enforcement agencies]. Izhevsk. 2020. 124 p. (In Russ.)
9. Altmann J. Acoustic weapons – a prospective assessment. *Science and Global Security*. 2002; 9(3):165–234. DOI: 10.1080/08929880108426495.
10. Campos, U.P. Correlation between DPOAE I/O functions and pure-tone thresholds. *Braz. J. Otorhinolaryngol*. 2011; 77(6):754–760. DOI: 10.1590/S1808-86942011000600012.
11. Davison N. «Non-lethal» weapons. Basingstoke: Palgrave Macmillan. 2009. Pp. 186–205.
12. Hertzano R., Lipford E.L., Depireux D. Noise: acoustic trauma to the inner ear. *Otolaryngol. Clin. North. Am*. 2020; 53(4):531–542. DOI: 10.1016/j.otc.2020.03.008.
13. Vinokur R. Acoustic noise as a nonlethal weapon. *Sound And Vibration*. 2004; 36(10):19–23.

Received 12.12.2024

For citing: Kuznetsov M.S., Logatkin S.M., Golovanov A.E. Kharakteristika i osobennosti vliyaniya zvukovogo signala spetsial'nogo akusticheskogo sredstva na organ slukha i psikhofiziologicheskie pokazateli cheloveka. *Mediko-biologicheskie i sotsial'no-psikhologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh*. 2025; (1):73–80. (In Russ.)

Kuznetsov M.S., Logatkin S.M., Golovanov A.E. Specialized acoustic devices and sound signal parameters affecting individual hearing and psychophysiological health. *Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations*. 2025; (1):73–80. DOI: 10.25016/2541-7487-2025-0-1-73-80.