

Акустическая эффективность средств индивидуальной защиты от низкочастотного шума и инфразвука

В.Н. Зинкин, ведущий научный сотрудник, профессор, д-р мед. наук¹

А.В. Богомолов, старший научный сотрудник, профессор, д-р техн. наук¹

А.В. Россельс, младший научный сотрудник¹

Г.И. Еремин, заведующий лабораторией, канд. техн. наук

¹ Научно-исследовательский испытательный центр (авиационно-космической медицины и военной эргономики) 4 Центрального научно-исследовательского института Минобороны России, г. Москва

² Государственный научно-исследовательский институт прикладной акустики, г. Дубна, Московской обл.

e-mail: zinkin-vn@yandex.ru, a.v.bogomolov@gmail.com, g_eremin@mail.ru

Ключевые слова:

противошумные наушники,
низкочастотный шум,
акустическая эффективность,
защита от инфразвука.

В статье обоснована необходимость расширения диапазона исследований акустической эффективности противошумных наушников, регламентированного действующими ГОСТ, на область частот от 4 до 63 Гц, и описана экспериментальная установка для таких исследований.

1. Введение

Проблема борьбы с шумом актуальна для специалистов многих профессий, однако мероприятия, проводимые в этом направлении, недостаточно эффективны [1–7]. В наиболее неблагоприятных гигиенических условиях работают специалисты, в спектре шума на рабочих местах которых значительная доля приходится на инфразвук и низкие частоты [1, 4, 5, 8].

На рабочих местах, где не удастся добиться снижения шума до предельно допустимых уровней (ПДУ) техническими средствами или где это нецелесообразно по технико-экономическим соображениям, в соответствии с существующими санитарными требованиями следует применять средства индивидуальной защиты (СИЗ) от шума. В зависимости от конструктивного исполнения они подразделяются на [9–12]:

- противошумные наушники, закрывающие ушную раковину снаружи;
- противошумные вкладыши, которые носят во внутренней части слухового прохода или в ушной раковине;
- противошумные шлемы, закрывающие ушную раковину и часть головы.

К настоящему времени разработано значительное количество модификаций СИЗ, отличающихся

как внешним видом и качеством изготовления, так и эффективностью. Акустическая эффективность образцов СИЗ различных производителей неодинакова, разброс величин шумопоглощения составляет [3, 6, 9]:

- в области низких (63...250 Гц) частот – 2...27 дБ для наушников и 1...22 дБ для шлемов,
- в области средних (500...1000 Гц) частот – 4...36 дБ для наушников и 14...39 дБ для шлемов,
- в области высоких (свыше 1000 Гц) частот – 23...42 дБ для наушников и 22...56 дБ для шлемов.

Установлено, что величина шумоглушения чашками наушников на низких частотах наиболее существенно зависит от характеристик уплотняющего слоя (амбишюров), на средних частотах – от характеристик наполнителя и особенностей и конструкции корпуса чашки, а на высоких частотах – от характеристик материала, из которого изготовлены корпуса чашек наушников [9, 13]. В соответствии с этим проводятся работы по совершенствованию образцов СИЗ. Для эффективного проведения таких работ важно использовать корректный метод оценки акустической эффективности (заглушающей способности) СИЗ, под которой понимается уменьшение уровня шума, обеспечиваемое СИЗ, в исследуемых октавных частотах или определенном частотном диапазоне.

Проведенные исследования показывают, что большинство СИЗ обладают удовлетворительной

акустической эффективностью в области высоких и средних звуковых частот и неудовлетворительной – в области низких звуковых частот и инфразвука [13–15].

Оценка качества акустической эффективности (заглушающей способности) противошумов проводится в соответствии с [12]. Этот стандарт определяет объективный способ поглощения шума противошумными наушниками для качественной оценки с помощью специального устройства. Акустическая эффективность противошумов осуществляется путем сравнения численных значений показателей, измеренных с помощью микрофонов, расположенных в устройстве для испытаний, прикрытых наушниками, и без наушников, в каждой из 8 октавных полос с частотами от 63 Гц до 8 кГц.

Испытательный сигнал получают из розового шума, отфильтрованного через полосу в одну треть октавы, а диапазоны среднегеометрических частот его должны находиться от 63 до 8000 Гц. Следовательно, использование такой методики не позволяет оценить акустическую эффективность противошумов ниже 63 Гц, а это необходимо делать для СИЗ от низкочастотного шума и инфразвука [13–15].

Изложенное обуславливает актуальность разработки требований к установке для измерения акустической эффективности противошумных наушников в диапазоне среднегеометрических частот от 4 до 63 Гц и проведения испытаний противошумных наушников различных образцов с оценкой качества заглушающей способности с помощью экспериментальной установки.

2. Требования к экспериментальному устройству для акустических испытаний СИЗ

При разработке экспериментальной установки для проведения акустических испытаний СИЗ учтены требования [12].

Устройство для акустических испытаний было изготовлено по аналогии с образцом, описанным в [14]. Оно обеспечивает правильное расположение звукоизолирующего наушника над измерительным микрофоном для измерения понижения уровня звукового давления тестового сигнала. В качестве материала для изготовления устройства использованы немагнитные материалы (оргстекло и алюминиевый сплав). Устройство имеет цилиндрическую форму с горизонтальной осью 145 мм между центрами торцевых концов, а диаметр этого цилиндра — 135 мм. Углы каждого из обоих торцов сделаны наклонными (угол наклона $4,5^\circ \pm 0,5^\circ$ по отношению к вертикальной плоскости). Основные элементы конструкции устройства для испытаний выполнены аналогично образцу, описанному в [12]. Дополнительно в кон-

струкцию устройства был добавлен второй микрофон, расположенный на расстоянии 50 мм от центрального микрофона. Этот микрофон ничем не закрывается и служит для контроля неизменности параметров акустического поля. Измерительные микрофоны могут иметь номинальный диаметр 12 мм или 24 мм, а их чувствительность должна быть не менее 50 мВ/Па.

Испытательный сигнал в виде полосового шума формировали внутри испытательной камеры с помощью октавного фильтра и динамического громкоговорителя. Уровни шума (процесс изменения давления) регистрировали с помощью двух микрофонов и аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Один микрофон может быть открытым или закрываться звукоизолирующим наушником. Этот микрофон должен иметь коэффициент ослабления звука с тыльной стороны более чем 15 дБ. Второй микрофон расположен вблизи первого и звукоизолирующим наушником не закрывается. Он необходим для контроля неизменности параметров воздействующего давления при установке над первым микрофоном звукоизолирующего наушника.

Устройство для акустических испытаний необходимо поддерживать в области генерируемого звукового поля с помощью упругого крепления для достижения низкого порогового шума, при этом оно должно быть сориентировано в месте проведения испытания таким образом, чтобы звуковое поле падало по касательной к торцевому концу.

Для обеспечения равномерного прихода акустических волн с разных направлений необходимо перемещать устройство для акустических испытаний в шесть положений вокруг его оси внутри испытательной камеры.

Измерения выполняли методом преобразования изменений акустического давления с помощью двух микрофонов (можно использовать четыре микрофона для обоих наушников одновременно) в электрические сигналы с последующей их регистрацией и обработкой. Процесс измерений включает два этапа: этап регистрации электрических сигналов с выхода микрофонов с помощью АЦП и этап обработки зарегистрированной информации.

При выполнении измерений необходимо учитывать неизменность уровней воздействующего давления при установленном звукоизолирующем наушнике. Усредненный уровень воздействующего давления при установленном звукоизолирующем наушнике по измерениям второго (контрольного) микрофона не должен отличаться на величину ± 1 дБ от усредненного уровня воздействующего давления без звукоизолирующего наушника в каждой из октавных полос.

При определении уровней акустического давления использовали представление о процессе изменения давления, создаваемого на мембране микрофона, во временной области.

Временной ряд изменения давления P_k задавали отсчетами АЦП в моменты времени:

$$t_k = (k - 1) / F_v,$$

где $k = 1, 2, \dots, N$; N – число выборок; F_v — частота выборки в Гц, определяется верхней частотой анализа, рекомендуется равной 32768 Гц. Длительность временной реализации

$$T = N / F_v.$$

Время регистрации (записи) реализации шумового сигнала должно быть не менее 600 с при длительности временного окна для анализа данных, равной 2 с. Это требование обусловлено нижней границей частотного диапазона, равной 2,5 Гц, и необходимым количеством реализаций длительностью 2 с для выполнения операции усреднения. Количество реализаций для выполнения операции усреднения должно быть не менее 300. Этого количества реализаций достаточно для получения доверительной вероятности 0.95 и погрешности менее ± 1 дБ выполнения измерений уровня шума в октавных полосах.

Типовой канал измерения уровней акустического давления состоял из следующих основных блоков:

- датчик акустического давления (микрофон);
- октавные фильтры на диапазон частот от 4 до 8000 Гц;
- усилитель электрического сигнала;
- регистратор электрического сигнала;
- система обработки зарегистрированной информации.

Подлежащие проверке блоки измерительного канала были проверены, а остальные технические средства подготовлены в соответствии с технической документацией на них. Все используемые полосовые фильтры на октаву соответствовали требованиям МЭК 225-66.

К измерительному каналу предъявляли следующие требования:

- рабочий диапазон частот от 2,5 Гц до 12500 Гц;
- неравномерность АЧХ в пределах рабочего диапазона частот не более ± 1 дБ;
- погрешность определения чувствительности не более ± 1 дБ;
- динамический диапазон не менее 80 дБ;
- для обработки информации использовали вычислительную технику, обеспечивающую возможность вычисления звукоизоляции СИЗ.

Оборудование для генерирования испытательного сигнала состояло из испытательной металлической камеры объемом 1 м^3 ($1 \text{ м} \times 1 \text{ м} \times 1 \text{ м}$), в которой источником акустического испытательного сигнала типа «розовый шум» с интегральным уровнем до 130 дБ служил динамический громкоговоритель мощностью 1000 Вт (диаметр 0,8 м), встроенный в одну из стенок камеры. Громкоговоритель подключали к генератору сигналов типа «розовый шум» через усилитель мощности (1,5 кВт), снабженный октавными фильтрами, характеристики которых удовлетворяют требованиям МЭК 225-66.

Сигналы с выхода микрофонов, эквивалентные создаваемым внутри испытательной камеры уровням шума в каждой из октавных полос, первоначально были измерены (зарегистрированы с помощью АЦП) при отсутствии звукоизолирующих наушников. Далее помещали звукоизолирующие наушники на устройстве для проведения акустического испытания таким образом, чтобы амортизаторы находились на каждом из торцов, при этом наушник должен находиться над центральным микрофоном. Во время проведения испытаний уровень звукового давления тестового сигнала не должен изменяться более чем на ± 1 дБ по сравнению с уровнем, первоначально измеренным (при отсутствии наушника). Для каждой октавной полосы тестового сигнала разность между уровнями звукового давления составляет величину звукоизоляции для испытываемого наушника.

Измерения звукоизоляции повторяли достаточное количество раз, но не менее трех раз, пока разность между двумя последовательными средними значениями звукоизоляции не станет менее 1 дБ.

3. Результаты исследования

Испытания экспериментальной установки с целью оценки качества акустической эффективности противозумов проводились в два этапа [14–15].

На первом этапе были исследованы характеристики испытательного сигнала в камере и оценена акустическая изоляция устройства в октавных полосах частот со среднегеометрической частотой от 4 Гц до 8000 Гц (см. табл. 1).

Как видно из таблицы 1, УЗД тестового сигнала в свободном пространстве камеры находился в диапазоне от 86 до 116 дБ в зависимости от частоты:

- 102–108 дБ — в пределах 4–16 Гц;
- 108–116 дБ — в пределах 31,5–250 Гц;
- 104–109 дБ — в пределах 500–2000 Гц;
- 86–94 дБ — в пределах 4000–8000 Гц.

Из таблицы следует, что УЗД тестового сигнала в области частот от 4 до 2000 Гц достигали максимальных значений во всем рабочем диапазоне частот, превышая

Таблица 1

Результаты исследования акустической эффективности противошумных наушников упрощенным методом

Место измерения	УЗД	УЗД (дБ) на среднегеометрических частотах в октавных полос, Гц											
		4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Фон в камере при генерации тестового сигнала	L	102	105	108	116	114	108	114	107	109	104	94	86
Показания микрофона при акустической изоляции	L	38	36	38	39	43	39	38	41	44	40	38	41
	$\Delta_{\text{МФ}}$	64	69	70	77	71	69	76	66	65	64	56	45
Наушники Optime III фирмы Peltor (Швеция)	L	93	94	94	102	97	96	87	67	62	55	62	53
	Δ_{LM}	9	11	14	14	17	12	27	40	47	49	32	33
Наушники АН-301 фирмы Dencom (Россия)	L	101	103	106	112	108	96	94	80	72	66	53	48
	Δ_{LM}	1	2	2	4	6	12	20	27	37	38	41	38
Наушники танкового шлемофона зимнего (ТШ4)	L	102	105	108	116	114	107	111	95	95	89	72	62
	Δ_{LM}	0	0	0	0	0	1	3	12	14	15	22	24
Наушники ШЗО-2 (Россия)	L	102	105	108	115	113	97	95	79	66	72	63	60
	Δ_{LM}	0	0	0	1	1	11	19	28	43	32	31	26
Экспериментальный образец наушников	L	85	87	89	92	92	84	81	62	54	59	57	53
	Δ_{LM}	17	18	19	24	22	24	33	45	55	45	37	33

Примечание: L — уровень звукового давления (УЗД), Δ_{LM} — разница между УЗД, измеренными микрофонами в камере и в подчашечном пространстве, $\Delta_{\text{МФ}}$ — разность между УЗД, измеренными микрофоном в свободном пространстве камеры при генерации тестового сигнала и при его изоляции.

100 дБ. На более высоких частотах (4000–8000 Гц) они существенно снизились и не превышали 86–94 дБ. Как видно, генерируемый сигнал в камере по уровню соответствует высокоинтенсивному широкополосному шуму, в спектре которого присутствует выраженный инфразвук. Из этого следует, что тестовый сигнал имеет близкое подобие с авиационным шумом по уровню и частотному спектральному составу.

УЗД при акустической изоляции устройства в октавных полосах частот соответствовали 36–44 дБ. Акустическая изоляция для проведения испытаний составила:

- от 64 до 77 дБ для несущих частот от 4 до 31,5 Гц;
- от 69 до 76 дБ для несущих частот от 63 до 250 Гц;
- от 56 до 66 дБ для несущих частот от 500 до 4000 Гц;
- 45 дБ для несущей частоты 8000 Гц.

Полученные данные показывают, что акустическая изоляция устройства имеет высокие значения (не менее 65 дБ) в диапазоне от 4 до 2000 Гц и соответствует требованиям [12] к устройству для акустических измерений. С увеличением частоты тестового сигнала величина параметра стала резко снижаться. На частоте 4000 Гц она составила уже 56 дБ и еще соответствовала требованиям указанного ГОСТ. На несущей частоте 8000 Гц акустическая изоляция снизилась до 45 дБ и была ниже требуемой величины (не менее 55 дБ).

На втором этапе для объективной оценки качества акустической эффективности были проведены испытания пяти типов противошумных наушников. Результаты представлены в таблице, из которой видно, что наушники Optime III фирмы Peltor (Швеция) обладали

заглушающей способностью во всем исследованном акустическом диапазоне частот. Наименьшей она была в диапазоне частот 4–31,5 Гц и колебалась от 9 до 14 дБ. В пределах частот 63–250 Гц величина параметра увеличилась до 27 дБ, а максимальных значений (до 49 дБ) она достигла в диапазоне частот 500–2000 Гц. На более высоких частотах (4000–8000 Гц) заглушающая способность снизилась до 33 дБ.

Наушники АН-301 фирмы Dencom (Россия) практически не снижали УЗД в диапазоне частот 4–16 Гц и имели слабую акустическую эффективность (4–12 дБ) в области 31,5–250 Гц. От 500 Гц и выше величина параметра значительно увеличилась, достигнув максимальных значений (41 дБ) на частоте 4000 Гц.

Наушники танкового шлемофона зимнего (ТШ4) не снижали УЗД в диапазоне частот 4–250 Гц и имели слабую акустическую эффективность (12–15 дБ) в области 500–2000 Гц. На более высоких частотах (4000–8000 Гц) величина этого параметра достигла максимальных значений (24 дБ).

Наушники ШЗО-2 (Россия) не обладают заглушающей способностью в диапазоне частот 4–63 Гц. Она увеличилась до 19 дБ на частоте 250 Гц, а максимальные ее значения (43 дБ) имели место на частоте 1000 Гц. На более высоких частотах (2000–8000 Гц) акустическая эффективность снизилась до 26–31 дБ.

Экспериментальный образец наушников обладал заглушающей способностью во всем исследованном акустическом диапазоне частот. Наименьшей она была в диапазоне частот 4–16 Гц (17–19 дБ). В пределах частот 31,5–125 Гц ее величина увеличилась до

24 дБ, а максимальных значений (до 45–55 дБ) она достигла в диапазоне частот 500–2000 Гц. На более высоких частотах (4000–8000 Гц) заглушающая способность снизилась до 33–37 дБ.

4. Обсуждение результатов

Проведенные исследования показали, что экспериментальная установка по уровню тестового сигнала и акустической изоляции устройства практически отвечает требованиям [12]. Оборудование для испытаний генерировало достаточно высокие УЗД, которые во всем диапазоне звуковых частот превышали рекомендуемые [10–12]. Акустическая изоляция устройства в диапазоне частот 4–2000 Гц была не ниже 65 дБ, как требует ГОСТ, но существенно была снижена для несущих высоких частот.

В то же время необходимо обратить внимание, что в области высоких частот (4000–8000 Гц) в камере начинают значительно снижаться УЗД тестового сигнала и акустическая изоляция. Это можно объяснить следующим образом.

Камера имеет ограниченный размер по длине порядка 1 м, что соответствует длине акустической волны около 340 Гц. Устройство для проведения испытаний находилось в центре камеры, то есть на расстоянии приблизительно 0,5 м от излучающей поверхности громкоговорителя. В соответствии принятому положению в акустике, что граница формирования акустической волны является $\lambda/2$, при генерации акустического сигнала в данном объеме камеры ниже 680 Гц будет сопровождаться формированием диффузного акустического поля, где преобладает потенциал акустического давления. По отношению к устройству для проведения измерений эта граница будет соответствовать 1360 Гц. Из этого следует, что при генерации тестового сигнала в диапазоне до 680–1360 Гц установка будет работать в режиме камеры динамического давления, где образуется более однородное звуковое поле. При акустических сигналах свыше 680–1360 Гц размеры камеры делают возможным формирование волнового процесса, то есть режима бегущей волны. Процесс сопровождается появлением отраженных волн в связи с ограниченным объемом камеры, что в итоге скажется на неоднородности звукового поля и возможности неточностей в проведении измерений. Однако наиболее вероятная причина — значительное уменьшение мощности, отдаваемой громкоговорителем на частотах свыше 2000 Гц. Определенное подтверждение этого были получены при исследовании акустической эффективности противошумных наушников.

Для оценки качества измерения акустической эффективности на экспериментальной установке были проведены испытания пяти типов противошумных наушников. Установлено, что все наушники имели различную степень поглощения шума в зависимости от конструктивных особенностей их чашек. Из всех испытанных противошумов наушники танкового шлемофона зимнего (ТШ4) имели наименьшую акустическую эффективность. Они способны снижать шум не более чем на 22–24 дБ только в области частот 4000–8000 Гц, поэтому целесообразно их использовать при действии высокочастотного шума не выше УЗД 90 дБ. Наушники АН-301 фирмы *Dencom* (Россия) и наушники ШЗО-2 (Россия) по акустической эффективности близки. Наиболее эффективно они поглощают шум в области 250–8000 Гц (27–41 дБ), что позволяет их рекомендовать к использованию при генерации средне- и высокочастотного шума не выше УЗД 100–110 дБ. Наушники *Optime III* фирмы *Peltor* (Швеция) и экспериментальный образец наушников имеют схожие параметры по заглушающей способности и обладают наибольшей акустической эффективностью из представленных в данном исследовании противошумов. Они способны ослаблять шум во всем диапазоне инфразвуковых и звуковых частот. Это позволяет их рекомендовать к использованию при действии широкополосных инфразумов с УЗД свыше 110 дБ.

5. Заключение

На основании результатов испытаний можно сделать следующее заключение. Созданная экспериментальная установка способна объективно определять заглушающую способность противошумов в области инфразвуковых частот (4–16 Гц) и в диапазоне звуковых частот от 31,5 до 1000 Гц. Для оценки акустической эффективности противошумов в настоящее время надо руководствоваться [12], а при необходимости получения таких параметров в диапазоне 4–31,5 Гц можно использовать предложенный нами способ.

Целесообразно продолжать исследования по созданию установки для исследования акустической эффективности в области частот инфразвукового и низкочастотного звукового диапазонов и разработать методику проведения измерений. Это позволит существенно расширить используемые в настоящее время подходы к исследованию эффективности СИЗ от шума [3, 6, 9], особенно в связи с началом создания средств защиты, предназначенных для защиты головы и внутренних органов человека от экстракохлеарного воздействия высокоинтенсивных акустических колебаний [4–6, 8, 9].

Работа поддержана РФФИ, грант № 13-08-00265.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зинкин В.Н. Авиационный шум: специфические особенности биологического действия и защиты / В.Н. Зинкин, А.В. Богомолов, И.М. Ахметзянов, П.М. Шешегов // *Авиакосмическая и экологическая медицина*. — 2012. — Т. 46. — № 2. — С. 9–16.
2. Борьба с шумом на производстве / Под ред. Е.Ю. Юдина. — М.: Машиностроение, 1985.
3. Зинкин В.Н. Медико-биологические методы оценки эффективности средств индивидуальной защиты от шума / В.Н. Зинкин, И.М. Ахметзянов, С.К. Солдатов, А.В. Богомолов // *Медицина труда и промышленная экология*. — 2011. — № 4. — С. 31–36.
4. Кумулятивные медико-экологические эффекты сочетанного действия шума и инфразвука / В.Н. Зинкин, А.В. Богомолов, С.П. Драган, И.М. Ахметзянов // *Экология и промышленность России*. — 2012. — № 3. — С. 46–49.
5. Зинкин В.Н. Анализ рисков здоровью, обусловленных сочетанным действием шума и инфразвука / В.Н. Зинкин, А.В. Богомолов, С.П. Драган, И.М. Ахметзянов // *Проблемы анализа риска*. — 2011. — Т. 8. — № 4. С. 82–92.
6. Солдатов С.К. Человек и авиационный шум / С.К. Солдатов, В.Н. Зинкин, А.В. Богомолов, Ю.А. Кукушкин // *Безопасность жизнедеятельности*. — 2012. — № 9 (приложение).
7. Щербаков С.А. Результаты исследований акустической обстановки на рабочих местах инженерно-технического состава авиации / С.А. Щербаков [и др.] // *Проблемы безопасности полетов*. — 2007. — №3. — С. 27–32.
8. Особенности сочетанного действия шума и инфразвука на организм / В.Н. Зинкин, И.М. Ахметзянов, С.П. Драган, А.В. Богомолов // *Безопасность жизнедеятельности*. — 2011. — № 9. — С. 2–10.
9. Средства и методы защиты от авиационного шума: состояние и перспективы развития / С.К. Солдатов [и др.] // *Авиакосмическая и экологическая медицина*. — 2011. — Т. 45. — № 5. — С. 3–11.
10. ГОСТ Р 12.4.211-99 (ИСО 4869-2-89). Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты органа слуха. Противошумы. Субъективный метод измерения поглощения шума (введ. 01.01.2002). — М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2000.
11. ГОСТ Р 12.4.212-99 (ИСО 4869-2-94). Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты органа слуха. Противошумы. Оценка результирующего значения А-корректированных уровней звукового давления при использовании средств индивидуальной защиты от шума (введ. 01.01.2002). — М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2000.
12. ГОСТ Р 12.4.213-99. (ИСО 4869-3-89). Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты органа слуха. Противошумы. Упрощенный метод измерения акустической эффективности противошумных наушников для оценки качества (введ. 01.01.2002). — М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2000.
13. Драган С.П. Метод расчета интегральной оценки акустической эффективности средств индивидуальной защиты от шума / С.П. Драган // *Безопасность жизнедеятельности*. — 2013. — № 1. — С 32–37.
14. Зинкин В.Н. Технология исследования акустической эффективности средств защиты от низкочастотного шума и инфразвука / В.Н. Зинкин, А.В. Богомолов, Г.И. Еремин, С.П. Драган // *Мир измерений*. — 2011. — № 10 (218) . — С. 40–45.
15. Методология экспериментальных исследований акустической эффективности средств индивидуальной защиты от шума в области низких частот / В.Н. Зинкин [и др.] // *Информационно-измерительные и управляющие системы*. — 2011. — Т. 9. — № 5. С. 62–68.

Acoustic Efficiency of Individual Protection Equipment from Low-Frequency Noise And Infrasound

V.N. Zinkin, Leading Research Associate, Doctor of Medicine, Professor, Scientific Research Test Center of Aerospace Medicine and Military Ergonomics of the 4th Central Scientific Research Institute of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow

A.V. Bogomolov, Senior Research Associate, Doctor of Engineering, Professor, Scientific Research Test Center of Aerospace Medicine and Military Ergonomics of the 4th Central Scientific Research Institute of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow

A.V. Rossels, Junior Research Associate, Scientific Research Test Center of Aerospace Medicine and Military Ergonomics of the 4th Central Scientific Research Institute of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow

G.I. Eryomin, Chief of Laboratory, Ph.D. of Engineering, State Scientific Research Institute of Applied Acoustics, Dubna, Moscow Region.

The need of expansion of range of acoustic efficiency researches related to anti-noise earphones, regulated by operating GOST, on area of frequencies from 4 to 63 Hz is proved, and experimental installation for such researches is described in this article.

Keywords: anti-noise earphones, low-frequency noise, acoustic efficiency, protection against an infrasound.