

Методика оценивания акустической эффективности противошумов

С. П. Драган¹, А. В. Богомолов²,

А. Д. Котляр-Шапилов³

Государственный научный РФ – Федеральный
медицинский биофизический центр им. А.И.Бурназяна

¹s.p.dragan@mail.ru, ²a.v.bogomolov@gmail.com,

³double9305@mail.ru

Е. В. Ларкин

Тульский государственный университет

elarkin@mail.ru

Е. А. Кондратьева

Сколковский институт науки и технологий

kondratevakate@yandex.ru

А. С. Конкина¹, Н. Н. Соловьева²

Южно-Уральский государственный университет

¹alexandra.konkina@yandex.ru, ²nsolowjowa@mail.ru

Аннотация. Представлена методика расчета интегральной оценки акустической эффективности средств индивидуальной защиты от шума, позволяющая оценить акустическую эффективность шумозащитных наушников, шумозащитного шлема и их совместного использования в интересах решения задач авиационной медицины, медицины труда и гигиены.

Ключевые слова: защита от шума; акустическая эффективность; медицинская акустика; гигиена труда

I. ВВЕДЕНИЕ

На рабочих местах, где организационно–техническими мероприятиями не удастся добиться снижения уровня шума до нормативных величин или это невозможно по технико–эксплуатационным соображениям, в соответствии с (ГОСТ 12.1.003–83; ГОСТ Р 12.4.212–99), следует применять средства индивидуальной защиты от шума, которые, в зависимости от конструктивного исполнения, подразделяются на: 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 [1, 2].

К настоящему времени разработано значительное количество модификаций средств индивидуальной защиты, отличающихся как внешним видом и качеством изготовления, так и эффективностью [3, 4]. 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 [5–7]. В

соответствии с этим проводятся работы по совершенствованию образцов средств индивидуальной защиты. Существенное значение для эффективного проведения таких работ имеет использование корректного метода оценивания *акустической эффективности* (заглушающей способности) средства индивидуальной защиты, под которой уменьшение уровня шума, обеспечиваемое средством индивидуальной защиты, на исследуемых октавных частотах или в определенном частотном диапазоне.

II. СТАНДАРТИЗИРОВАННЫЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОТИВОШУМНЫХ НАУШНИКОВ

В настоящее время оценка акустической эффективности противошумов осуществляется путем сравнения численных значений показателей в каждой из октавных полос с частотами от 63 Гц до 8 кГц. Таких октавных полос 8, разные наушники могут обладать высокой акустической эффективностью в одних частотных полосах и низкой акустической эффективностью – в других частотных полосах. Поэтому для характеристики акустической эффективности разрабатываемого образца средства индивидуальной защиты необходим интегральный показатель, объединяющий оценки акустической эффективности в каждой октавной полосе [8, 9].

Действующим ГОСТ Р 12.4.212–99 (ISO 4869–2–94) определены три показателя, характеризующие акустическую эффективность шумозащитных наушников для высоких, средних и низких частот (соответственно: *H*, *M* и *L*), а также показатель *SNR* (Single Number Rating) – одиночный показатель поглощения шума. Эти показатели устанавливают критерии для отбора или сравнения противошумов, а также определяют требования минимально приемлемого поглощения шума для диапазона частот 63 Гц ... 8 кГц, не позволяя дать такую оценку для диапазона частот ниже 63 Гц. Следует

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 18-08-00244

отметить, что общепринятые (стандартизированные) показатели акустической эффективности шумозащитных шлемов к настоящему времени не разработаны.

III. АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ И КОРРЕКТНОСТИ МЕТОДА РАСЧЁТА ОЦЕНКИ ОДИНОЧНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ПОГЛОЩЕНИЯ ШУМА ШУМОЗАЩИТНЫМИ НАУШНИКАМИ

Для исследования чувствительности и корректности метода расчёта оценки SNR использованы данные об акустической эффективности шумозащитных наушников ведущих зарубежных и отечественных фирм (предприятий) [8]:

1. Peltor Optime 2;
2. ATI/David Clark DCAT Flight Deck Cranial;
3. Наушники ЗАО «НПО «Динафорс»;
4. средство индивидуальной защиты, приведенное в качестве примера в ГОСТ Р 12.4.212–99;
5. средство индивидуальной защиты с равновесными значениями шумопоглощения (под равновесным значением шумопоглощения понимается такое распределение акустических эффективностей в октавных полосах частот, увеличение которых на 10 дБ в каждой полосе приводит к равному увеличению оценки SNR (на 0,5 ед.)).

Для каждого образца шумозащитных наушников рассчитаны значения SNR . Далее поочередно на каждой частоте значения акустической эффективности были увеличены на 10 дБ и рассчитаны новые оценки SNR , т.е. определена чувствительность метода к изменению акустической эффективности шумозащитных наушников на разных частотах, характеризуемая оценкой среднего значения акустической эффективности (M_f) и разностью оценок SNR при увеличении акустической эффективности шумозащитных наушников на каждой частоте на 10 дБ (ΔSNR).

Наушники типа Peltor Optime 2 (образец 1) имеют такие характеристики, что усиление акустической эффективности на 10 дБ на частоте 125 Гц приводит к увеличению оценки показателя SNR на 2,5 дБ, хотя увеличение эффективности на других частотах не приведет к столь значимому увеличению показателя SNR .

Для наушников фирмы David Clark (образец 2) изменение показателя SNR другое: имеется две частоты (250 и 4000 Гц), на которых увеличение акустической эффективности приводит к максимальному изменению показателя SNR .

Для наушников ЗАО НПО «Динафорс» (образец 3) максимальная чувствительность показателя SNR зарегистрирована для частоты 125 Гц: увеличение акустической эффективности на 10 дБ приводит к увеличению показателя SNR на 2,6 дБ. На остальных же частотах увеличение акустической эффективности наушников на оценку SNR существенного влияния не оказывает.

Для наушников, приведенных в качестве примера в ГОСТ Р 12.4.212–99 (образец 4) установлено, что на значение SNR в большей степени влияют значения акустической эффективности на частоте 500 Гц ($\Delta SNR = 1,1$ дБ). На частотах 63 Гц, 4000 Гц, 8000 Гц увеличение акустической эффективности на значение SNR практически не влияет.

Для наушников с равновесным распределением значений шумопоглощения (образец 5) увеличение акустической эффективности на 10 дБ на любой частоте увеличивает SNR на 0,5 дБ. Повышение акустической эффективности средств индивидуальной защиты на всех частотах на 1 дБ также увеличивает значение SNR на 1 дБ.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют, что увеличение акустической эффективности наушников на разных частотах приводит к разным и неравнозначным изменениям показателя SNR , что не позволяет объективно судить об акустической эффективности наушников во всем частотном диапазоне, что обусловлено введением частотной A -коррекции уровня звукового давления. Вследствие этого нельзя объективно сравнивать наушники с разной акустической эффективностью на различных частотах. Для сравнения разных типов средств индивидуальной защиты, необходимо учитывать вид кривой приращения значения SNR от изменения акустической эффективности.

IV. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К МЕТОДУ КОМПЛЕКСНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ШУМА

Для корректного сравнения защитных свойств вновь разрабатываемых средств индивидуальной защиты от шума и их сопоставления с существующими образцами необходимо разработать такой метод, который бы учитывал специфические характеристики авиационных шумов во всем нормируемом диапазоне частот [10–12]. Кроме того, этот метод должен объединять не только характеристики акустической эффективности используемых наушников, но также и характеристики акустической эффективности шумозащитных шлемов, определяемой в подшлемном пространстве.

Шумозащитный шлем может быть упругим (жестким) и мягким, и в зависимости от этого характеристики используемых в его составе наушников также могут быть совершенно разными. При использовании мягких шлемов акустическая эффективность наушников может быть выше, чем у наушников, которые используются в упругих шлемах, поскольку с использованием мягких шлемов воздушная проводимость снижается гораздо лучше, чем костная, а при использовании упругих шлемов наоборот: костная проводимость снижается значительно лучше, чем воздушная. Поэтому вопрос о том, какой шлем более эффективно защищает от шума по показателям как воздушной, так и костной проводимости остается открытым.

Для корректного сопоставления образцов наушников и шлемов, выпускаемых предприятиями (фирмами)

различных государств необходимо учесть, что данные об акустической эффективности образцов в России представляются в диапазон 2 Гц ...8 кГц, а в странах Европы и Америки – 63 Гц (в некоторых странах 125 Гц) ...8 кГц. Поэтому метод должен корректно учитывать это обстоятельство.

V. МЕТОДИКА РАСЧЁТА ИНТЕГРАЛЬНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ШУМА

Разработанная с учётом вышеизложенных особенностей методика основана на сопоставлении данных о максимальных уровнях шумов в местах пребывания человека с требованиями санитарных норм по неблагоприятному действию шума [2, 4, 7, 8].

Несомненно, что полная защищенность от шума при использовании средств индивидуальной защиты может быть достигнута в том случае, когда акустическая эффективность в каждой октавной частоте обеспечивает защиту от самых высоких значений шума как по воздушной, так и по костной проводимости [9]. Но значения максимальной акустической эффективности для воздушной проводимости определяют акустическую эффективность средств индивидуальной защиты.

В [8] для каждой нормируемой октавной частоты приведены значения предельно допустимых уровней звукового давления, дБ, и максимальные уровни звукового давления, зарегистрированные на рабочих местах специалистов, обслуживающих воздушные суда.

Следует отметить, что в настоящее время в мире не разработаны средства индивидуальной защиты, обеспечивающие необходимую степень защиты от шума как в нижней, так и в верхней части его спектра.

Коэффициент защиты средства индивидуальной защиты (k_s^1) определим как логарифм от соотношения количества используемых октавных полос к сумме акустических эффективностей образца средства индивидуальной защиты в каждой используемой октавной полосе частот (в дБ):

$$k_s^1 = 20 \cdot \lg \frac{n_1}{\sum_{i=1}^{n_1} 10^{\Delta_i/20}},$$

где n_1 – количество используемых октавных полос (в действующем ГОСТ используется оценка в октавных полосах от 125 Гц до 8 кГц, т.е. $n_1=7$, а с учетом всего спектра воздействия, оценку следует производить в октавных полосах частот от 2 Гц и до 8 кГц, т.е. $n_1=13$), Δ_i – разница между максимальной акустической эффективностью образца средства индивидуальной защиты и экспериментально зарегистрированным значением акустической эффективности разрабатываемых средств индивидуальной защиты для каждой октавной частоты (Δ_{ji}), вычисляемая следующим образом:

$$\Delta_i = \Delta_{2i} - \Delta_{1i},$$

где Δ_2 – максимальная акустическая эффективность для воздушной проводимости, дБ.

Отметим, что показатель Δ_i определяется результатами акустических измерений в подзаглушенном пространстве, т.е. учитывает степень защиты по воздушной проводимости.

Весовые коэффициенты компонентов интегрального коэффициента защиты средств индивидуальной защиты по каждой октавной частоте учтены предельно допустимыми уровнями. Когда акустическая эффективность разрабатываемых средств индивидуальной защиты достигнет требуемых значений для полной защиты от максимальных уровней шума, то величина коэффициента защиты примет значение 1, что в логарифмическом масштабе соответствует значению 0 дБ. В том случае, когда акустическая эффективность средства индивидуальной защиты в какой-либо полосе частот оказывается выше максимальных значений, т.е.

$$\Delta_{2i} - \Delta_{1i} < 0,$$

то $\Delta_i=0$, т.е. избыточная защищенность на одной частоте не приводит к увеличению защитных свойств на других частотах и, соответственно, к увеличению оценки коэффициента защиты средства индивидуальной защиты.

Можно отметить, что коэффициент защиты современных образцов средств индивидуальной защиты от шума находится в диапазоне от –15 дБ и ниже, т.е. ни одно средство индивидуальной защиты не способно полностью защитить от шума, имеющего выраженные высоко- и низкочастотные компоненты.

Очевидно, что для защиты от воздействия шума через костную проводимость необходимо применять шумозащитные шлемы, защищающие поверхность головы от непосредственного акустического воздействия. Для разработки метода расчета оценки коэффициента защиты таких шлемов необходимо учесть, что уровень шума, передаваемого костной проводимостью, на 20–30 дБ меньше уровня, воспринимаемого ухом за счет воздушной проводимости.

Коэффициент защиты для шлемов (упругих или мягких) может быть оценен аналогичным образом, однако вместо данных о максимальной эффективности по воздушной проводимости следует использовать данные по костной проводимости, которые на 20 дБ ниже. В [8] приведены максимальные значения по костной проводимости, причем для частот 2, 4 и 32 Гц, когда максимальная акустическая эффективность для воздушной проводимости составляет менее 20 дБ, эти значения равны 0. В этом случае, суммирование в знаменателе формулы осуществляется только по 10 частотам ($n_2=10$), то есть оценка коэффициента защиты для шлема (k_s^2) по измерениям акустической эффективности в подшлемном пространстве вычисляется по формуле:

$$k_s^2 = 20 \cdot \lg \frac{n_2}{\sum_{i=1}^{n_2} 10^{\Delta_{3i}/20}},$$

где n_2 – количество используемых октавных полос для оценки эффективности, Δ_{3i} – разница между максимальной эффективностью по костной проводимости и экспериментально зарегистрированным значением акустической эффективности разрабатываемого средства индивидуальной защиты в подшлемном пространстве на каждой соответствующей октавной частоте (Δ_{4i}), вычисляется следующим образом:

$$\Delta_{5i} = \Delta_{5maxi} - \Delta_{4i}.$$

В этом случае также следует воспользоваться условием:

$$\text{если } \Delta_{5maxi} - \Delta_{4i} < 0, \text{ то } \Delta_{5i} = 0.$$

То есть избыточная защищенность на одной частоте, не приводит к усилению защитных свойств шлема во всем диапазоне частот.

Если акустическая эффективность разрабатываемых средств индивидуальной защиты (шлемов) достигнет требуемых значений для защиты от максимальных уровней шума, то величина коэффициента защиты примет значение 1, что в логарифмическом масштабе соответствует значению 0 дБ.

Итак, на основе формул для расчета оценок коэффициента защиты наушников и шлема, выражение для расчёта комплексной (интегральной) оценки защитных свойств шлема с наушниками (k) имеет вид:

$$k = 20 \cdot \lg \frac{n_1 + n_2}{\sum_{i=1}^{n_1} 10^{\Delta_{4i}/20} + \sum_{i=1}^{n_2} 10^{\Delta_{3i}/20}}.$$

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, разработанный метод расчёта интегральной оценки акустической эффективности средств индивидуальной защиты от шума дополняет стандартизированные методы и позволяет адекватно оценивать акустическую эффективность во всем диапазоне частот, заданном санитарными нормами (2 Гц ... 8 кГц). Кроме того, метод позволяет дать объективную количественную характеристику акустической эффективности отдельно шлемов (по измерениям в подшлемном пространстве), а также шлемов в комплекте с

наушниками. Предложенная методология может быть использована и для анализа акустической эффективности всего комплекта средств защиты (наушники, шлемы, виброкостюмы) от акустического воздействия во всем диапазоне частот.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Звукоизоляция и звукопоглощение / Под ред. Л.Г.Осипова и В.Н.Бобылева. М.: Астрель, 2004. 450 с.
- [2] Драган С.П., Зинкин В.Н., Богомолов А.В., Солдатов С.К., Дроздов С.В. Акустическая эффективность средств защиты от шума // Медицинская техника. 2013. № 3. С. 34-36.
- [3] Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом / Под ред. Н.И.Иванова. М.: Логос, 2008. 422 с.
- [4] Зинкин В.Н., Ахметзянов И.М., Солдатов С.К., Богомолов А.В. Медико-биологическая оценка эффективности средств индивидуальной защиты от шума // Медицина труда и промышленная экология. 2011. № 4. С. 33-34.
- [5] Зинкин В.Н., Богомолов А.В., Ахметзянов И.М., Шешегов П.М. Авиационный шум: специфические особенности биологического действия и защиты // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2012. Т.46, № 2. С. 9-16.
- [6] Попова И.А., Горбунова О.В. Особенности выбора средств индивидуальной защиты органов слуха // Современные технологии и научно-технический прогресс. 2018. Т. 1. С. 182-183.
- [7] Солдатов С.К., Зинкин В.Н., Богомолов А.В., Аверьянов А.А., Россельс А.В., Пацкин Г.А., Соколов Б.А. Средства и методы защиты от авиационного шума: состояние и перспективы развития // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2011. Т.45, № 5. С. 3-11.
- [8] Драган С.П. Метод расчета интегральной оценки акустической эффективности средств индивидуальной защиты от шума // Безопасность жизнедеятельности. 2013. № 2. С. 10-17.
- [9] Драган С.П., Солдатов С.К., Богомолов А.В., Дроздов С.В., Поляков Н.М. Оценка акустической эффективности средств индивидуальной защиты от экстрааурального воздействия авиационного шума // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2013. Т. 47. № 5. С. 21-26.
- [10] Богомолов А.В., Драган С.П. Метод акустической квалитетрии средств коллективной защиты от шума // Гигиена и санитария. 2017. Т. 96. № 8. С. 755-759.
- [11] Драган С.П., Богомолов А.В., Котляр-Шапиров А.Д., Кондратьева Е.А. Метод импедансометрического исследования акустического рефлекса // Медицинская техника. 2017. № 1 (301). С. 52-55.
- [12] Драган С.П., Богомолов А.В. Метод неинвазивной диагностики состояния барабанной перепонки с использованием зондирующих полигармонических звуковых сигналов // Медицинская техника. 2016. № 6 (300). С. 21-23.