

## Акустическая эффективность средств защиты от шума

## Аннотация

Предложен метод расчета интегральной оценки акустической эффективности средств индивидуальной и коллективной защиты от авиационного шума, позволяющий оценить акустическую эффективность шумозащитных наушников, шумозащитного шлема и их совместного использования, а также средств коллективной защиты.

Несмотря на меры, принимаемые по борьбе с шумом, количество специалистов различных профессий, подвергающихся его некомпенсированному воздействию, не уменьшается [1]-[4]. Наиболее перспективным направлением защиты человека от высокоинтенсивного шума представляется использование комплекса средств коллективной защиты (СКЗ) и средств индивидуальной защиты (СИЗ), включающего в себя наушники, шлемы, виброзащитные жилеты.

В настоящее время имеются нормативные документы для объективной оценки акустической эффективности шумозащитных наушников. Однако для средств защиты от экстракохлеарного воздействия (воздушной вибрации), а также для СКЗ ни методик, ни регламентирующих документов по расчету оценки их акустической эффективности не разработано.

Установлено, что величина шумоглушения чашками наушников на низких частотах наиболее существенно зависит от характеристик уплотняющего слоя (амбушуров), 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. В соответствии с этим проводятся работы по совершенствованию образцов СИЗ. Важное значение для эффективного проведения таких работ имеет использование корректного метода оценивания акустической эффективности (заглушающей способности) СИЗ.

Оценка акустической эффективности СИЗ осуществляется путем сравнения численных значений показателей в каждой из октавных полос с частотами от 63 Гц до 8 кГц. Таких октавных полос восемь, разные наушники могут обладать высокой акустической эффективностью в одних частотных полосах и низкой акустической эффективностью – в других. Поэтому для характеристики акустической эффективности разрабатываемых образцов СИЗ или СКЗ необходим интегральный показатель, объединяющий оценки акустической эффективности в каждой октавной полосе.

Действующим ГОСТ Р 12.4.212-99 (ИСО 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 отбора или сравнения противозумов, а также определяют требования минимально приемлемого поглощения шума для диапазона частот 63 Гц...8 кГц, но не для диапазона частот ниже 63 Гц.

Показатель  $SNR$  используется для характеристики эффективности защиты и определения действующего  $A$ -корректированного УЗД с СИЗ. Вычисление оценки  $SNR$  основано на разнице между значениями УЗД эталонного розового шума в восьми октавных полосах (согласно ГОСТ Р 12.4.212-99) и показателями минимального значения поглощения шума СИЗ ( $APV_{f(k)x}$ ) в этих же полосах частот (63 Гц...8 кГц). Оценка показателя  $SNR_x$  не зависит от спектра реального шума и вычисляется по формуле

$$SNR_x = 100 \text{ дБ} - 10 \lg \sum_{k=1}^8 10^{0,1[L_{Af(k)} - APV_{f(k)x}]}, \quad (1)$$

где индекс  $x$  соответствует выбранной эффективности защиты, %;  $L_{Af(k)}$  –  $A$ -корректированный УЗД, оценку которого следует брать из табл. 3 ГОСТ Р 12.4.212-99, а оценка показателя

минимального значения поглощения шума  $APV_{f(k)x}$  рассчитывается по формуле

$$APV_{f_x} = M_f - \alpha s_f \quad (2)$$

где индекс  $f$  соответствует средней частоте в октавной полосе;  $M_f$  – оценка акустической эффективности;  $s_f$  – оценка стандартного отклонения акустической эффективности;  $\alpha$  – константа (для эффективности защиты 80 % ее значение равно 0,84).

Метод расчета оценки показателя  $SNR$  основан на оценке  $A$ -корректированного УЗД, которая используется для того, чтобы приблизить объективные измерения к субъективному восприятию шума человеком. Стандартизированный метод расчета оценки  $SNR$  не учитывает акустической эффективности СИЗ на частотах ниже 64 Гц, в том числе и в инфразвуковой области, в то время как отечественными санитарными нормами предусмотрено нормирование шума в диапазоне 2 Гц...8 кГц. Механическое расширение частотного диапазона до 2 Гц методически некорректно, так как нижняя частота стандартной коррекции шкалы «А» шумомера составляет 16 Гц и на более низких частотах  $A$ -коррекция не определена. Следует отметить, что расширение диапазона частот для вычисления оценки  $SNR$  мало изменит значение этого показателя даже при высокой акустической эффективности в октавных полосах ниже 64 Гц, что делает данный показатель мало пригодным для обоснования выбора образца СИЗ, более эффективного во всем диапазоне частот 2 Гц...8 кГц. Кроме того, использование  $A$ -корректированных УЗД вносит элемент неопределенности при переходе к интегральному показателю акустической эффективности.

Для корректного сравнения защитных свойств вновь разрабатываемых СИЗ и СКЗ и их сопоставления с существующими образцами необходимо создать такой метод, который бы учитывал специфические характеристики шумов во всем нормируемом диапазоне частот. Кроме того, этот метод должен объединять не только характеристики акустической эффективности используемых наушников, но и характеристики акустической эффективности шумозащитных шлемов, определяемой в подшлемном пространстве. Более того, метод должен определять акустическую эффективность виброжилетов по измерениям в разных точках поверхности тела, а также и звукоизоляционные свойства помещений, используемых как средство коллективной защиты (СКЗ) для персонала.

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 стран, необходимо учесть, что данные об акустической эффективности образцов в России представляются в диапазоне

2 Гц...8 кГц, а в странах Европы и Америки – в диапазоне 63 Гц (в некоторых странах – 125 Гц)...8 кГц. Поэтому метод должен корректно учитывать это обстоятельство.

Разработанный с учетом вышеизложенных особенностей метод основан на сопоставлении данных о максимальных уровнях шумов в местах пребывания человека с требованиями санитарных норм [5], [6].

Несомненно, что полная защищенность от шума при использовании СИЗ и СКЗ может быть достигнута тогда, когда акустическая эффективность в каждой октавной частоте обеспечивает защиту от самых высоких значений шума как по воздушной, так и по костной проводимости [3], [7]-[9].

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

Коэффициент защиты СИЗ ( $k_3^u$ ) определим как логарифм от соотношения количества используемых октавных полос к сумме акустических эффективностей образца СИЗ в каждой используемой октавной полосе частот (дБ):

$$k_3^u = 20 \cdot \lg \frac{n_1}{\sum_{i=1}^{n_1} 10^{\Delta_i/20}}, \quad (3)$$

где  $n_1$  – количество используемых октавных полос (в [10] 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 до 8 кГц, т. е.  $n_1 = 13$ );  $\Delta_i$  – разница между максимальной акустической эффективностью образца СИЗ и экспериментально зарегистрированным значением акустической эффективности СИЗ, разрабатываемых для каждой октавной частоты ( $\Delta_{СИЗi}$ ), вычисляемая следующим образом:

$$\Delta_i = \Delta_{в.пр. \max i} - \Delta_{СИЗi}$$

где  $\Delta_{в.пр. \max}$  – максимальная акустическая эффективность для воздушной проводимости, дБ.

Отметим, что показатель  $\Delta_i$  определяется результатами акустических измерений в подзаглушечном пространстве, т. е. учитывает степень защиты по воздушной проводимости.

Весовые коэффициенты компонентов коэффициента защиты СИЗ по каждой октавной частоте учтены предельно допустимыми уровнями (ПДУ). Когда акустическая эффективность разрабатываемых СИЗ достигнет требуемых значений для полной защиты от максимальных уровней шума, величина коэффициента защиты примет значение 1, что в логарифмическом масштабе соответствует значению 0 дБ. Когда акустическая эффективность СИЗ в какой-либо полосе частот оказывается выше максимальных значений, т. е.

$$\Delta_{в.пр. \max i} - \Delta_{СИЗi} < 0,$$

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 СИЗ.

Можно отметить, что коэффициент защиты современных образцов СИЗ находится в диапазоне от –15 дБ и ниже, т. е. ни одно СИЗ не способно полностью защитить от шума, имеющего выраженные высоко- и низкочастотные компоненты [5], [6].

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 за счет костной проводимости, 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.

Для частот, на которых максимальная акустическая эффективность для воздушной проводимости составляет менее 20 дБ, значения коэффициента защиты равны нулю. То есть оценка коэффициента защиты для шлема ( $k_3^u$ ) по измерениям акустической эффективности в подшлемном пространстве вычисляется по формуле

$$k_3^u = 20 \cdot \lg \frac{n_2}{\sum_{i=1}^{n_2} 10^{\Delta_{к.пр.i}/20}}, \quad (4)$$

где  $n_2$  – количество используемых октавных полос для оценки эффективности;  $\Delta_{к.пр.i}$  – разница между максимальной эффективностью по костной проводимости и экспериментально зарегистрированным значением акустической эффективности разрабатываемого СИЗ в подшлемном пространстве на каждой соответствующей октавной частоте ( $\Delta_{СИЗu,i}$ ), вычисляемая следующим образом:

$$\Delta_{к.пр.i} = \Delta_{к.пр. \max i} - \Delta_{СИЗu,i}$$

В этом случае также следует воспользоваться условием:

$$\text{если } \Delta_{к.пр. \max i} - \Delta_{СИЗu,i} < 0, \text{ то } \Delta_{к.пр.i} = 0,$$

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

Если акустическая эффективность разрабатываемых СИЗ (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.

Имея формулы для расчета оценок коэффициента защиты наушников (3) и шлема (4), выражение для расчета комплексной (интегральной) оценки защитных свойств шлема с наушниками ( $k_3^{u/n}$ ) имеет вид

$$k_3^{u/n} = 20 \cdot \lg \frac{n_1 + n_2}{\sum_{i=1}^{n_1} 10^{\Delta_i/20} + \sum_{i=1}^{n_2} 10^{\Delta_{к.пр.i,u}/20}}. \quad (5)$$

Разработанные показатели применены для сопоставления акустической эффективности современных образцов шумозащитных наушников, выпускаемых разными фирмами.

Другим объектом для интегральной оценки акустической эффективности средств индивидуальной защиты от авиационного шума послужили виброжилеты. Следует отметить, что при эксплуатации современных воздушных судов, когда уровни шума превышают 112 дБ, рекомендуется использовать индивидуальные средства виброзащиты. Оценка эффективности виброжилетов проводили в акустическом интерферометре с использованием манекена. Акустическая эффективность виброжилетов определена как разница уровней звукового давления в октавных полосах частот при измерениях одним микрофоном, размещенным на поверхности манекена под СИЗ и без СИЗ, при контроле условий идентичности акустического воздействия другим микрофоном.

Выражение для расчета комплексной (интегральной) оценки защитных свойств виброжилета ( $k_3^{a/жс}$ ) по измерениям в двух точках, на груди и животе, имеет вид:

$$k_3^{a/жс} = 20 \cdot \lg \frac{2 \cdot n_3}{\sum_{i=1}^{n_3} 10^{\Delta_{к.пр.i,a/жс-гp}/20} + \sum_{i=1}^{n_3} 10^{\Delta_{к.пр.i,a/жс-жив}/20}}, \quad (6)$$

где  $n_3$  – количество учитываемых октавных полос для оценки эффективности виброжилетов;  $\Delta_{к.пр.i,a/жс}$  – разница между максимальной эффективностью по костной проводимости и экспериментально зарегистрированным значением акустической эффективности испытываемого виброжилета в поджилетном пространстве на каждой соответствующей октавной частоте ( $\Delta_{СИЗa/жс,i}$ ), вычисляемая следующим образом:

$$\Delta_{к.пр.i} = \Delta_{к.пр. \max i} - \Delta_{СИЗa/жс-гp,i}$$

В этом случае также следует воспользоваться условием:

$$\text{если } \Delta_{\text{к.пр. тахi}} - \Delta_{\text{СИЗв/жс-гр.i}} < 0, \text{ то } \Delta_{\text{к.пр.i}} = 0.$$

Избыточная защищенность на одной частоте не приводит к усилению защитных свойств виброжилета во всем диапазоне частот.

Коэффициент защиты СКЗ ( $k_z^{СКЗ}$ ) определим как логарифм от соотношения количества используемых октавных полос к сумме акустических эффективностей (коэффициентов звукоизоляции испытываемого помещения) в каждой октавной полосе частот (в дБ) по формуле (3). Значения интегральной акустической эффективности вновь разработанных СКЗ составило 12,0 дБ, т. е. даже современные технологии, используемые при строительстве, не способны обеспечить требуемый уровень защиты персонала от воздействия авиационного шума. Поэтому для достижения требований санитарных норм [5], [6] эти средства необходимо располагать на определенных расстояниях от источника шума – там, где требования норм соблюдаются.

Таким образом, разработанный метод расчета интегральной оценки акустической эффективности средств индивидуальной защиты от шума дополняет существующие стандартные методы оценок и позволяет адекватно оценивать акустическую эффективность во всем диапазоне частот, заданном санитарными нормами (2 Гц...8 кГц). Предложенный методический подход целесообразно использовать для анализа акустической эффективности всего арсенала средств индивидуальной и коллективной защиты (наушники, шлемы, виброжилеты, звукоизоляционные помещения) от акустического воздействия во всем диапазоне частот.

#### Список литературы:

1. *Зинкин В.Н., Богомолов А.В., Ахметзянов И.М., Шешегов П.М.* Экологические аспекты безопасности жизнедеятельности населения, подвергающегося действию авиационного шума // Теоретическая и прикладная экология. 2011. № 3. С. 97-101.
2. *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.
3. *Солдатов С.К., Зинкин В.Н., Богомолов А.В., Кукушкин Ю.А.* Человек и авиационный шум. – М.: Новые технологии, 2012. 24 с.
4. *Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом / Под ред. Н.И. Иванова.* – М., 2008. 422 с.

5. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
6. СН 2.2.4/2.1.8.583-96 Инфразвук на рабочих местах, в жилых и общественных помещениях и на территории жилой застройки.
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. *Зинкин В.Н., Богомолов А.В., Еремин Г.И., Драган С.П.* Технология исследования акустической эффективности средств защиты от низкочастотного шума и инфразвука // Мир измерений. 2011. № 10 (218). С. 40-45.
9. Звукоизоляция и звукопоглощение / Под ред. Л.Г.Осипова и В.Н. Бобылева. – М.: Астрель, 2004. 450 с.
10. ГОСТ Р 12.4.212-99 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.

*Сергей Павлович Драган,  
канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник,  
Государственный научный центр РФ  
«Федеральный медицинский биофизический центр  
им. А.И. Бурназяна»,  
Валерий Николаевич Зинкин,  
д-р мед. наук, профессор, ведущий научный сотрудник,  
Алексей Валерьевич Богомолов,  
д-р техн. наук, профессор, ведущий научный сотрудник,  
Сергей Константинович Солдатов,  
д-р мед. наук, профессор, ведущий научный сотрудник,  
Научно-исследовательский испытательный центр  
(авиационно-космической медицины и военной  
эргономики) 4 Центрального  
научно-исследовательского института МО РФ,  
Сергей Владимирович Дроздов,  
мл. научный сотрудник,  
Государственный научный центр РФ  
«Федеральный медицинский биофизический центр  
им. А.И. Бурназяна»,  
г. Москва,  
e-mail: zinkin-vn@yandex.ru*

**О.Ю. Панищев, С.А. Демин, А.Я. Каплан, Н.Ю. Вараксина**

## Использование кросс-корреляционного анализа ЭЭГ-сигналов для выявления предрасположенности к шизофрении

### Аннотация

Показано, что исследование перекрестных корреляций электроэнцефалограмм может быть использовано в диагностике предрасположенности к шизофрении у подростков 11-14 лет. Поиск диагностических признаков осуществляется на основе анализа коэффициента корреляции и Фурье-спектров кросс-корреляционных функций. Обнаруженные особенности позволили связать проявление частотно-фазовой синхронизации в определенной полосе частот спектров кросс-корреляторов с повышением риска развития шизофрении.

Стремительное развитие клинической медицины и появление большого числа новых диагностических методов в последние годы позволили значительно продвинуться в понимании процессов, возникающих при нарушениях высшей нервной деятельности. Однако многие заболевания по-прежнему не имеют клинически одобренных лабораторных тестов, к примеру заболевания с симптоматикой шизофренического ряда [1]. В данном случае постановка диагноза осуществляется врачом на основе анализа субъективных жалоб пациента и его пове-

дения с помощью стандартизированных критериев, выработанных в ходе проведения некоторого числа эмпирических наблюдений. В то же время в диагностике подобных заболеваний очень слабо используются методы электро- и магнитоэнцефалографии (ЭЭГ и МЭГ), хотя проводимые в этой области экспериментальные исследования свидетельствуют о перспективности подобных подходов [2].

Применение методов статистического анализа экспериментальных данных для обработки и анализа ЭЭГ- и МЭГ-сигна-