

ПРИБОРЫ, СИСТЕМЫ И ИЗДЕЛИЯ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ MEDICAL DEVICES, SYSTEMS AND PRODUCTS

УДК 625.098

doi:10.21685/2307-5538-2022-1-10

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ГОЛОВЫ В АРМЕЙСКОЙ АВИАЦИИ И ПУТИ ИХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

В. В. Харитонов¹, П. М. Шешегов², В. Н. Зинкин³

¹ Филиал «Взлет» Московского авиационного института (Государственного технического университета),
Ахтубинск, Астраханская область, Россия

^{2,3} Волгоградский государственный медицинский университет, Волгоград, Россия

¹haritonovvladimir@yandex.ru, ²sheshegoff.pavel@yandex.ru, ³zinkin-vn@yandex.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Целью работы являлась оценка эффективности средств индивидуальной защиты головы, используемых в армейской авиации, выявление недостатков и обоснование путей их совершенствования. *Материалы и методы.* Исследовали средства защиты головы летных экипажей, которые используются в настоящее время в государственной авиации. В работе использовали субъективный метод (анкетирование) и объективный метод оценки акустической эффективности. Особое внимание было обращено на средства защиты, используемые в армейской авиации, так как вертолетный шум имеет ряд особенностей. Показаны источники и механизмы формирования вертолетного шума. *Результаты.* С помощью анкетирования выявлены звукоизолирующие, конструктивные, эксплуатационные и эргономические недостатки средств индивидуальной защиты головы. Сравнение звукоизолирующих свойств средств защиты головы с акустическими параметрами на рабочих местах показало их недостаточную эффективность, что создает риски потери слуха. *Выводы.* Даны рекомендации по улучшению передачи и восприятию звуковой информации средств защиты головы, используемых в государственной авиации, а также оценки акустической эффективности средств защиты от авиационного шума.

Ключевые слова: государственная авиация, вертолеты, источники шума, анкета, средства индивидуальной защиты головы, недостатки, рекомендации

Для цитирования: Харитонов В. В., Шешегов П. М., Зинкин В. Н. Оценка эффективности средств индивидуальной защиты головы в армейской авиации и пути их совершенствования // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. 2022. № 1. С. 80–91. doi:10.21685/2307-5538-2022-1-10

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF PERSONAL HEAD PROTECTION EQUIPMENT IN ARMY AVIATION AND WAYS TO IMPROVE THEM

V.V. Kharitonov¹, P.M. Sheshegov², V.N. Zinkin³

¹ Branch of the «Take-off» of the Moscow Aviation Institute (State Technical University),
Akhtubinsk, Astrakhan region, Russia

^{2,3} Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia

¹haritonovvladimir@yandex.ru, ²sheshegoff.pavel@yandex.ru, ³zinkin-vn@yandex.ru

Abstract. *Background.* The purpose of the work was to evaluate the effectiveness of personal protective equipment of the head used in army aviation, identify shortcomings and justify ways to improve them. *Materials and methods.* We investigated the means of protecting the heads of flight crews, which are currently used in state aviation. The work used a subjective

tive method (questionnaire) and an objective method for evaluating acoustic efficiency. Special attention was paid to the protective equipment used in army aviation, since helicopter noise has a number of features. The sources and mechanisms of helicopter noise formation are shown. *Results.* With the help of a questionnaire, sound-proofing, constructive, operational and ergonomic disadvantages of personal head protection equipment were identified. A comparison of the sound-proofing properties of head protection products with acoustic parameters in the workplace showed their insufficient effectiveness, which creates risks of hearing loss. *Conclusions.* Recommendations are given to improve the transmission and perception of sound information of head protection devices used in state aviation, as well as evaluating the acoustic effectiveness of aircraft noise protection equipment.

Keywords: state aviation, helicopters, noise sources, questionnaire, personal head protection equipment, disadvantages, recommendations

For citation: Kharitonov V.V., Sheshegov P.M., Zinkin V.N. Evaluation of the effectiveness of personal head protection equipment in army aviation and ways to improve them. *Izmereniya. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurements. Monitoring. Management. Control.* 2022;(1): 80–91. (In Russ.). doi:10.21685/2307-5538-2022-1-10

Актуальность

Вертолеты представляют разновидность воздушных судов (ВС), входящих в состав государственной авиации. В настоящее время вертолеты составляют основу армейской авиации (АА), которая является родом войск в составе всех видов войск Вооруженных сил РФ [1–3].

Вертолеты имеют схожую конфигурацию. Основу их составляет фюзеляж, в переднем отсеке которого располагается экипаж (от 1 до 3 человек). Силовая установка вертолетов размещена над фюзеляжем. Конструктивные особенности данного типа ВС и наличие нескольких источников шума способствуют образованию внутри фюзеляжа интенсивного шума, инфразвука и общей вибрации, величины которых в большинстве случаев превышают предельно допустимые уровни (ПДУ). Шум, образующийся при эксплуатации вертолетов, по механизму многообразен, поэтому имеет сложный спектральный состав [2, 3].

В авиации шум и инфразвук занимают важное место среди вредных факторов труда. Они способны снижать работоспособность и создавать высокий риск здоровью, что требует проведения комплекса мероприятий по профилактике вредного действия механических факторов и снижения риска здоровью [4–6]. Особое место в этой системе отводится средствам индивидуальной защиты (СИЗ) от шума. В настоящее время экипажи вертолетов в обязательном порядке при выполнении полетных заданий используют защитные шлемы (ЗШ). ЗШ – это индивидуальное средство защиты летного состава. Они предназначены для механической защиты головы, органа зрения и поддержания связи с руководителями полетов и членами экипажа. В настоящее время в АА наиболее часто используется ЗШ-7В.

Использование СИЗ головы экипажами надо рассматривать как ведущий способ защиты органа слуха от вредных последствий действия шума, снижения риска развития тугоухости у летного состава и предупреждение его дисквалификации [7–9].

Цель работы: оценить эффективность средств индивидуальной защиты головы, используемых в АА, выявить недостатки и обосновать пути их совершенствования.

Методы исследования

Для оценки акустической эффективности, конструктивных и эргономических качеств СИЗ головы, применяемых в армейской авиации, использовали субъективный и объективный методы. В первом случае это было анкетирование летного состава (табл. 1).

В анкетировании приняли участие 47 членов экипажей (летчики и штурманы) различных видов авиации: дальняя авиация (ДА) – 4 человека, военно-транспортная авиация (ВТА) – 13 человек, оперативно-тактическая авиация (ОТА) – 17 человек, армейская авиация (АА) – 13 человек. Анкета позволяла субъективно оценить качество восприятия поступающей речевой информации (через наушники) и разборчивость речи в зависимости от уровня шума в кабине ВС и от используемого СИЗ головы при работе силовых установок ВС, а также выявить их конструктивные и эргономические недостатки.

Для оценки акустической эффективности СИЗ головы на первом этапе измеряли акустические параметры в кабине и салоне вертолета с помощью цифрового шумомера SVAN-945A (анализатор спектра 1 класса) и микрофона типа GRAS 40AZ. Шумомер предназначен для акустических измерений, мониторинга шума окружающей среды и оценки уровней шума и инфразвука на рабочих местах в соответствии с ОТТ ВВС-2015, ГОСТ 20296-2014 (Самолеты и

вертолеты гражданской авиации. Допустимые уровни шума в салонах и кабинах экипажа и методы измерения шума), санитарно-эпидемиологическими правилами (СанПиН 2.2.4.3359-16), санитарными нормами (СН 2.2.4/2.1.8.562–96). Микрофон GRAS 40AZ обладает линейной характеристикой в нормируемом частотном диапазоне. В диапазоне частот 1–10 000 Гц погрешность не превышает 1 дБ; 10–20 кГц погрешность не превышает 2 дБ. При обработке результатов в качестве нормативных документов, регламентирующих уровни акустической нагрузки на авиационных специалистов, использовали вышеперечисленные документы.

Таблица 1

Анкета

Вопрос	Оценка			Примечание
	хорошая	удовлетворительная	плохая	
Тип воздушного судна				
Марка защитного шлема				
Качество восприятия поступающей информации (через наушники) в зависимости от уровня шума в кабине: – двигатель не работает – при прогреве двигателя – при взлете – во время полета				
Разборчивость речи				
Имеются ли затруднения восприятия согласных: – звонких согласных (б, в, г, д, ж, з, й, л, м, н, р) – глухих согласных (к, п, с, т, ф, х, ц, ч, ш, щ)				
Качество передачи информации (через ларингофоны) в зависимости от уровня шума в кабине: – двигатель не работает – при прогреве двигателя – при взлете – во время полета				

Примечания. 1. Требуется ли усовершенствование защитного шлема: да/нет.
2. Если требуется усовершенствование, то в чем конкретно (написать).

На втором этапе оценку акустической эффективности СИЗ головы от шума проводили методом сравнения параметров шума внутри вертолета с ПДУ в октавных полосах для вертолетов согласно ОТТ ВВС-2015, а затем полученную разницу сравнивали с акустической эффективностью СИЗ от шума в октавных полосах со среднегеометрической частотой 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц¹. Для оценки акустической эффективности использовали ЗШ-7, который наиболее часто используется членами экипажей в АА, и комплект СИЗ-1, предназначенный для специалистов инженерно-авиационной службы.

Источники вертолетного шума и его особенности

Анализ вертолетного шума при различных режимах работы силовой установки свидетельствует о наличии акустических колебаний в октавных полосах со среднегеометрическими частотами от 2 до 8000 Гц. Такой шум нужно классифицировать как широкополосный шум с инфразвуковой составляющей. Широкополосный шум с максимумом в области низких

¹ ГОСТ Р 12.4.213-99 ССБТ. Средства индивидуальной защиты органа слуха. Противошумы. Упрощенный метод измерения акустической эффективности противошумных наушников для оценки качества.

и средних частот указывает на газодинамический характер его происхождения и обусловлен работой турбин [2, 5].

В табл. 2 представлены уровни звукового давления и уровни шума при эксплуатации вертолета Ми-8 при различных режимах работы силовой установки.

Таблица 2

Уровни звукового давления и уровни шума при эксплуатации вертолета Ми-8 при различных режимах работы силовой установки

Мощность работы двигателя	Уровни звукового давления (дБ) в октавных полосах со среднегеометрической частотой (Гц)									Уровень звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Работа силовой установки на режиме запуск двигателя										
18 %	85,5	84,2	88,0	87,3	88,3*	90,6*	82,3	75,6	75,1	91
Работа силовой установки на режиме «малый газ»										
68–71 %	90,6	89,0	89,0	87,8	87,2	88,7*	85,5*	78,6	74,6	91
Работа силовой установки в режиме «правой коррекции»										
83–83 %	93,5	100,1	96,7*	95,3*	91,7*	93,7*	90,9*	80,4*	75,8	97
ПДУ	113	103	96	91	88	85	83	81	79	90

Примечание: * – превышение ПДУ для 8-часового рабочего дня согласно ГОСТ 20296 – 2014 «Самолеты и вертолеты гражданской авиации. Допустимые уровни шума в салонах и кабинах экипажей и методы измерения шума».

Из табл. 2 следует, что УЗД и уровни звука внутри вертолета зависят от мощности работы двигателя. Они достигают максимальных значений при работе силовой установки в режиме «правой коррекции». Большую часть времени (95 %) во время полета личный состав подвергается шуму при работе двигателей в режиме «правой коррекции» и параметры шума практически не меняются, поэтому вертолетный шум нужно считать постоянным. Наиболее высокие УЗД (100 дБ) приходятся на область от 31,5 до 2000 Гц с максимумом в октавной полосе 63 Гц. Поэтому такой шум классифицируется как низкочастотный. Уровень звука превышает ПДУ от 1 до 7 дБА, что соответствует вредному классу условий труда (класс 3.1– 3.2). Наличие в спектре шума дискретных сигналов с максимальной интенсивностью до 100 дБ и выше позволяет вертолетный шум классифицировать и как тональный шум, генез которого обусловлен вращением винтов.

Таким образом, к специфическим особенностям вертолетного шума можно отнести:

- широкополосный с максимумом в области низких и средних частот;
- интенсивный (до 100 дБ) и превышает ПДУ;
- постоянный и равномерный;
- сочетание с широкополосным инфразвуком;
- наличие дискретных тонов сложного генеза (гармоники и резонансы).

Особенности формирования шума при эксплуатации вертолетов позволили сформировать такое понятие, как «вертолетный шум», т.е. широкополосный высокоинтенсивный шум с максимумом спектра в области низких частот и наличием дискретных тонов [2, 3].

Исследование акустической обстановки было проведено в трех режимах: запуск двигателя, «малый газ» и режим «правой коррекции». Основным отличием всех трех режимов является мощность работы силовой установки (соответственно 18 %, 68–71 %, 83–84 %). Исследование показало зависимость интенсивного шума от мощности работы турбин, тем самым подтверждая газодинамическую природу его происхождения. Разброс УЗД в различных точках внутри вертолета является незначительным (1,5 дБ), что позволяет сделать заключение о равномерности акустического поля внутри вертолета.

Механизмы генерации вертолетного шума имеют сложный характер. В первую очередь, это обусловлено наличием нескольких источников шума, каждый из которых имеет свою природу образования шума: две турбины (газодинамический шум), трансмиссия (структурный шум), винты (винтовой шум). Во-вторых, все источники располагаются на верхней поверхности фюзеляжа и они конструктивно имеют жесткое соединение с металлическим корпусом,

что способствует образованию и проведению структурного шума во все отсеки вертолета. В-третьих, в отсеках, которые имеют свои геометрические размеры, могут формироваться резонансные явления за счет воздействия внешнего шума на корпус вертолета.

Таким образом, вертолетный шум по механизму формирования многообразен из-за наличия нескольких источников, поэтому он имеет сложный спектральный состав.

Оценка конструктивных, эксплуатационных и эргономических свойств СИЗ головы

На дополнительный вопрос, требуется ли усовершенствование защитного шлема, ответили «ДА» 32 человека (68 %). Причем почти все высказали не по одному замечанию.

Все выявленные замечания были распределены по группам:

- 1) по качеству воспринимаемой звуковой информации;
- 2) по зрительному восприятию;
- 3) по конструктивным особенностям;
- 4) по эргономическим свойствам.

Проведенный анализ в каждой группе выявленных недостатков показал следующее:

1. Замечания по качеству связи и восприятию звуковой информации отметили 40,4 % опрошенных:

- при работе системы кондиционирования воздуха (СКВ) плохое качество восприятия информации за счет шума (ЗШ-7 ВС, авиагарнитура);

- плохое качество передачи информации, необходимо активное шумоподавление (ЗШ-7 АПН, ГСШ-18 А);

- задержка в воспроизведении речи при закрытой радиосвязи (ЗШ-7 ВС);

- неразборчивость отдельных команд по самолетному переговорному устройству (СПУ) (авиагарнитура).

2. У 17 % опрошенных были замечания по зрительным восприятиям:

- подвержен механическим повреждениям светофильтр;

- появляются блики;

- преломление изображения через светофильтры.

3. Недостатки по конструктивным особенностям отметили 40,4 % опрошенных:

- малая длина шнура (ЗШ-5А, ЗШ-7АПН).

- разрушаются провода в области заголовья кресла, кабель зацепляется за подвесную штангу кресла (ЗШ-7 ВС).

- улучшить сочетание шлем-маска (ЗШ-7АПН).

- выход из строя микрофона ЗШ (ЗШ-7 ВС).

4. Эргономические недостатки отметили 63,8 % опрошенных:

- уменьшение веса и габарита ЗШ;

- уменьшить количество проводов (ЗШ-7АПН);

- доработать в ЗШ мягкой прокладкой на крепление очков ночного видения;

- более удобное оголовье (ГСШ-18 А);

- наличие мягкой амбушюры (ГСШ-18 А);

- доработка крепления для кислородной маски (ГСШ-18 А);

- снижение давления наушников на височную и ушную область, особенно при длительных полетах (ГСШ-18 А, ЗШ-5А, ЗШ-7А, КМ-32, авиагарнитура).

Таким образом, используемые СИЗ головы в государственной авиации, имеют ряд конструктивных и эргономических недоработок, которые требуют усовершенствования. Наибольшее количество замечаний было предъявлено при использовании ГСШ-18 А, используемых в ВТА и ЗШ-7 ВС.

Оценка качества восприятия и передачи звуковой и речевой информации при использовании СИЗ головы

В ДА при полетах используется ЗШ-7, у 75 % опрошенных качество восприятия поступающей информации и разборчивость речи не страдает. Качество передачи информации (через ларингофоны) и восприятие согласных 50 % отметили как хорошее, а 50 % – удовлетворительное.

В ВТА для защиты используется летный шлем, а для переговоров – авиагарнитура. В 46 % качество восприятия поступающей информации не нарушено, восприятие согласных хорошее, в 46 % – удовлетворительное, а в 8 % – плохое. Причем разборчивость речи не страдает у 77 %, 15 % отметили разборчивость речи как удовлетворительную, а 8 % – плохую. Качество передачи информации (через ларингофоны) хорошее отмечено в 31 %, удовлетворительное – у 61 %, плохое – у 8 %.

В ОТА при использовании ЗШ-5А, ЗШ-7А качество восприятия поступающей информации, разборчивость речи, восприятие согласных и качество передачи информации хорошее в 82 %, только 16 % опрошенных эти же показатели оценили удовлетворительно.

В АА используются ЗШ-7В и ЗШ-7 ВС. 69 % опрошенных отметили хорошее качество восприятия поступающей информации, хорошие разборчивость речи, восприятие согласных и качество передачи информации на всех типах ВС. В то же время 31 % отметили удовлетворительное качество восприятия информации, восприятие согласных и качество передачи информации при прогреве двигателя, при взлете и во время полета.

Таким образом, используемые СИЗ головы, используемые в государственной авиации, не полностью обеспечивают качественное восприятие и передачи звуковой информации.

Оценка акустической эффективности ЗШ-7В

В соответствии с требованиями по технике безопасности на рабочих местах, где не удастся добиться снижения шума до ПДУ, следует применять СИЗ от шума.

Защитный шлем (ЗШ-7В). В АА экипажи обеспечены СИЗ головы ЗШ-7В, одной из функций которого является защита от шума. В табл. 3 показана его акустическая эффективность [2].

Таблица 3

Сравнение шумозащитных свойств ЗШ-7В с превышением уровня звукового давления в кабине экипажей вертолетов АА

Параметр	Акустическая эффективность (дБ) ЗШ-7 в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц						
	125 Гц	250 Гц	500 Гц	1000 Гц	2000 Гц	4000 Гц	8000 Гц
	9	8	21	21	26	34	24
Превышение УЗД (Δ) над ПДУ в зависимости от типа вертолета							
Ми-8	0	4	5	9	8	0	0
Ми-35м	25	21	36	37	40	41	42
Ми-26	7	15	18	22	25	26	17
Ка-52	5	0	0	0	0	0	1
Ка-50	2	3	3	0	1	5	9
Ми-28Н	0	12	6	7	0	0	0
ПДУ (дБ)	97	91	87	85	83	81	80

Примечания: 1. ПДУ – предельно допустимый уровень (дБ) от 4 до 8 ч полета согласно ОТТ ВВС-2015. 2. Δ – превышение уровня звукового давления (дБ) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами над ПДУ в кабине вертолета. 3. Жирным шрифтом выделена величина превышения (Δ) над ПДУ.

В табл. 3 показано, что ЗШ-7В обладает акустической эффективностью в звуковом диапазоне частот 125–8000 Гц от 9 до 34 дБ. В области низких частот величина звукопоглощения не превышает 9 дБ, а с увеличением частоты она возрастает и достигает максимальной величины в области высоких частот (24–34 дБ). Кроме того, в табл. 2 представлены величины превышения УЗД в кабинах вертолетов над ПДУ. В зависимости от типа вертолета величина этого параметра колеблется от 0 до 42 дБ.

Сравнительный анализ показывает, что ЗШ-7В в звуковом диапазоне 125–8000 Гц в полном объеме не защищает орган слуха от вредного и помехового действия шума. Наименьшей эффективностью ЗШ-7В обладает при полетах на вертолетах, особенно Ми-35м и Ми-26.

Кроме того, он недостаточно эффективен на частотах от 500 Гц и ниже практически во всех типах вертолетов, что будет оказывать помеховое действие на речевой контакт между членами экипажа и руководителем полета.

Таким образом, ЗШ-7В, используемый в АА как СИЗ от шума, недостаточно эффективно защищает орган слуха от некомпенсированного действия вертолетного шума. Данных по эффективности ЗШ от инфразвука нет, так как работа в этом направлении не проводилась. Отсутствие и недостаточная эффективность СИЗ от шума и инфразвука для экипажей АА требует проведения работ по совершенствованию СИЗ. Поэтому для поддержания на высоком уровне работоспособности и снижения риска здоровью необходимо использовать другие мероприятия по профилактике вредного действия вертолетного шума [10–12].

Комплект СИЗ-1. Приказом Министра обороны РФ № 202 от 22.04.2016 приняты на снабжение Вооруженных сил комплекты средств индивидуальной защиты СИЗ-1 и СИЗ-2. Они предназначены для защиты органа слуха инженерно-технического состава от неблагоприятного влияния высокоинтенсивного шума на всех этапах эксплуатации авиационной техники в любое время года. Их отличие состоит в том, что комплект СИЗ-2 обеспечивает двустороннюю связь технического персонала с командиром ВС при подготовке к полету. В табл. 4 представлены результаты сравнения шумозащитных свойств комплекта СИЗ-1 с превышением уровня звукового давления в кабине салона вертолетов АА.

Таблица 4

Сравнение шумозащитных свойств комплекта СИЗ-1 с превышением уровня звукового давления в кабине салона вертолетов АА (см. табл 2)

Параметр	Акустическая эффективность (дБ) ЗШ-7 в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц						
	125 Гц	250 Гц	500 Гц	1000 Гц	2000 Гц	4000 Гц	8000 Гц
	20	29	40	42	38	35	36
Превышение УЗД (Δ) над ПДУ в зависимости от типа вертолета							
Ми-8	0	4	5	9	8	0	0
Ми-35м	25	21	36	37	40	41	42
Ми-26	7	15	18	22	25	26	17
Ка-52	5	0	0	0	0	0	1
Ка-50	2	3	3	0	1	5	9
Ми-28Н	0	12	6	7	0	0	0
ПДУ (дБ)	97	91	87	85	83	81	80

В табл. 4 показано, что комплект СИЗ-1 обладает акустической эффективностью в звуковом диапазоне частот 125–8000 Гц от 20 до 42 дБ. В области низких частот (125–250 Гц) величина звукопоглощения составляет 20–29 дБ, а с увеличением частоты она возрастает и достигает максимальной величины в области 500 и 1000 Гц (соответственно 40 и 42 дБ). Кроме того, в табл. 4 представлены величины превышения УЗД в кабинах вертолетов над ПДУ. В зависимости от типа вертолета величина этого параметра колеблется от 0 до 42 дБ.

Сравнительный анализ превышений УЗД в салоне с акустической эффективностью комплекта СИЗ-1 показывает, что последний в звуковом диапазоне 125–8000 Гц практически в полном объеме защищает орган слуха от вредного и помехового действия шума во всех типах вертолетов, за исключением Ми-35м. В последнем шум превышает акустическую эффективность комплекта от 2 до 6 Гц.

Таким образом, комплект СИЗ-1 будет эффективно защищать орган слуха от некомпенсированного действия вертолетного шума у лиц, находящихся в салоне. Комплект СИЗ-2 по своим звукоизолирующим свойствам не отличается от комплекта СИЗ-1.

Однако известно, что в условиях воздействия авиационного шума защита органа слуха путем перекрытия воздушного пути поступления звука не всегда обеспечивает надежность безопасности персонала. Это обусловлено тем, что в спектре авиационного шума, особенно при работе силовых установок ВС, присутствуют низкочастотные и инфразвуковые частоты, превышающие ПДУ. Они при уровнях выше 100 дБ способны активировать костный путь доставки звука к звуковоспринимающим структурам внутреннему уху. Надо учитывать, что УЗД

в области инфразвука внутри вертолета достигают 100 дБ, а в низкочастотном диапазоне – (31,5–125 Гц) 90–122 дБ. Кроме того, надо учитывать, что существующие СИЗ от шума, в том числе используемые в АА, не эффективны в данном диапазоне частот [2, 13, 14].

Пути совершенствования акустической эффективности СИЗ от вертолетного шума

Использование наушников, оборудованных гарнитурой связи, в ряде случаев не решает серьезные затруднения в передаче звуковой информации воздушным путем. Это может быть обусловлено следующими обстоятельствами [15, 16].

Процесс звукопроводения является чисто механическим и осуществляется путем воздушной или костной проводимости. Воздушная проводимость осуществляется по воздуху посредством анатомических структур наружного и среднего уха. Костная проводимость – это передача звуковой энергии через ткани головы к подвижным звукопроводящим элементам улитки. Костная проводимость отличается от воздушной проводимости только тем, что она передает звуковые колебания не через воздушную среду, а используя контактное вибрационное воздействие на кость. Нужно понимать, что никакой неестественности здесь нет.

Механизмы костно-тканевой передачи звука хорошо изучены. Установлено, что характер проведения звуковых колебаний по костям черепа не одинаков при разной частоте. Костное проведение оказывается гораздо более эффективным для слухового восприятия, когда звуковые сигналы передаются прямо на кости черепа через вибратор, установленный на голове (преимущественно в области сосцевидной или скуловой кости). Разница в импедансе костей и жидкостей внутреннего уха небольшая, что способствует передаче звуков практически без изменения их амплитудно-частотных характеристик. В звуковых системах с костной проводимостью используются хорошо изученные возможности человеческого тела, и в сравнении с обычными наушниками изменен лишь способ доставки звука, который воспринимается обычными органами слуха в обход ушных раковин.

Костное проведение звуков, по сути, определяет тот лимит, при котором человеческое ухо может быть защищено от окружающих шумов различными устройствами для защиты слуха (в том числе СИЗ от шума). Закрытие ушей уменьшает поступление звуковой энергии через наружный слуховой проход, но не оказывает никакого эффекта на передачу звуков путем костного проведения. Выключение звукопроводящих воздушных путей из процесса слухового восприятия не сопровождается полной потерей слуха, оно лишь приводит к повышению порогов слышимости. При плотной закупорке наружного слухового прохода у человека удается снизить остроту слуха не более чем на 40 дБ. Это соответствует усиливающей способности звукопроводящей системы наружного и среднего уха. Наблюдения за больными с изолированным повреждением звукопроводящего аппарата показывают, что при этом не наступает глухота, так как звук может доставляться к внутреннему уху непосредственно через кости черепа и покрывающие его ткани. Это есть костно-тканевое звукопроводение.

Механические процессы в улитке и кодирование их в виде электрических ответов, отражающих импульсацию в сенсорном эпителии и нервных структурах, при костном проведении аналогичны таковым при воздушном проведении тех же стимулов. Уровень звуковых колебаний, передаваемых костно-тканевым путем, на 20–30 дБ меньше уровня, воспринимаемого ухом при передаче воздушным путем.

Итак, звукопроводение до волосковых клеток спирального органа является механическим процессом и осуществляется двумя путями – воздушным и костно-тканевым. Большим преимуществом последнего пути является возможность осуществлять передачу информации на большое расстояние и скрытым путем. Использование гаджета на основе костной проводимости является надежным каналом получения звуковой информации, расширяя возможности человека для получения одновременно информации из окружающей среды, а значит снижает ненадежность действия оператора в условиях действия шума [17].

С появлением цифровых технологий открываются большие возможности применения костного звукопроводения в СИЗ головы для государственной авиации. Для этого необходимо усовершенствовать ЗШ, которые используют летные экипажи. Кроме того, необходимо салоны, особенно вертолетов, оборудовать аппаратурой, позволяющей использовать личному составу костную проводимость во время работы силовой установки [2].

Существующие методики оценки акустической эффективности СИЗ от шума предназначены для исследования в диапазоне от 125 до 8000 Гц. Одной из особенностей авиационного шума является высокая интенсивность, широкополосность, наличие инфразвуковой составляющей. Кроме того, нередко максимум спектра шума приходится на частоты ниже 250 Гц. Имеющиеся СИЗ от шума в полном объеме не обеспечивают необходимую акустическую эффективность для безопасности авиационных специалистов, особенно инженерно-технический состав. Для решения этой проблемы предлагаем следующее.

Во-первых, при действии низких частот использование эквивалентного уровня звука не оправдано, так как шкала «А» существенно занижает уровень звука. Для устранения этого пробела в санитарных нормах по инфразвуку вводится дополнительный нормируемый показатель – общий эквивалентный уровень инфразвука, который регистрируется в диапазоне частот от 1,6 до 40 Гц. Однако этот параметр не включает уровни звукового давления в низкочастотной области в октавных полосах с центральными частотами 63, 125 и 250 Гц, т.е. максимальные УЗД авиационного шума не входят в интегральные нормируемые показатели акустического воздействия. В связи с этим в качестве критерия использования СИЗ необходимо применять не нормируемый показатель – уровень звукового давления во всем диапазоне частот, регистрируемый по шкале «Линейная» [18]. Предложен метод расчета интегральной оценки акустической эффективности СИЗ от авиационного шума, позволяющий оценить акустическую эффективность шумозащитных наушников и шумозащитного шлема, в том числе при их совместном использовании [19].

Во-вторых, при высоких уровнях звукового давления рекомендовано использовать комплекс специальных средств защиты, в который должны входить противошумный шлем и противошумный жилет. Это новый класс технических СИЗ для защиты человека от аурального и экстрааурального действия высокоинтенсивного шума [20].

В-третьих, необходимо продолжить разработку новых СИЗ от авиационного шума, обладающих достаточной эффективностью в области низких и инфразвуковых частот.

Заключение

Исследование СИЗ головы, используемых летным составом государственной авиации, позволило выявить ряд недостатков, что требует их усовершенствования.

Использование костной проводимости является перспективным методом повышения эффективности передачи и восприятия звуковой информации в условиях действия шума как в кабине, так и в салоне вертолета. Необходимо совершенствовать методики по оценке акустической эффективности средств защиты от авиационного шума.

Для поддержания на высоком уровне работоспособности летного состава и снижения риска их здоровью необходимо использовать и другие мероприятия по профилактике вредного действия авиационного шума [21–23].

Список литературы

1. Стоянович И. С. Измерение шума и вибрации в кабине вертолета Ми-8 // *Vojnotehncki glasnik. Military technical courier*. 2016. Vol. 64, № 1. P. 176–195.
2. Харитонов В. А., Мищенко А. А., Пирожков М. В. [и др.]. Методические подходы для оценки акустической обстановки внутри вертолета Ми-8 // *Проблемы безопасности полетов*. 2020. № 10. С. 39–59.
3. Иванов Н. И. Вертолеты. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом : учебник. 3-е изд. перераб и доп. М. : Логос, 2013. С. 387–388.
4. Шешегов П. М. Профессиональные риски у авиационных специалистов Военно-воздушных сил // *Проблема безопасности полетов*. 2016. № 2. С. 3–25.
5. Солдатов С. К., Зинкин В. Н., Богомолов А. В. [и др.]. Фундаментальные и прикладные аспекты авиационной медицинской акустики. М. : Физматлит, 2019. 216 с.
6. Зинкин В. Н., Шешегов П. М. Современные проблемы шума в авиации // *Проблемы безопасности полетов*. 2014. № 5. С. 3–25.
7. Zhdanko I. M., Zinkin V. N., Soldatov S. K. [et al.]. Fundamental and applied aspects of preventing the adverse effects of aviation noise // *Human Physiology*. 2016. Vol. 42, № 7. P. 705–714.

8. Зинкин В. Н., Миронов В. Г., Солдатов С. К., Шешегов П. М. Особенности патологического действия авиационного шума на орган слуха инженерно-технического состава авиации // Российская оториноларингология. 2007. № 6. С. 69–74.
9. Харитонов В. В., Жданько И. М., Филатов В. Н., Шешегов П. М. Требования к средствам индивидуальной защиты от шума для специалистов инженерно-авиационной службы государственной авиации // Проблемы безопасности полетов. 2020. № 6. С. 12–28. URL: <https://www.elibrary.ru/contents.asp?id=43102218&selid=43102226>
10. McKinley R., Bjorn V., Hall J. Improved Hearing Protection for Aviation Personnel. 2005. In New Directions for Improving Audio Effectiveness (pp. 13-1 – 13-12). Meeting Proceedings RTO-MP-HFM-123, Paper 13. Neuilly-sur-Seine, France. URL: <http://www.rto.nato.int/abstracts.apa.html> (дата обращения: 12.01.2017).
11. Солдатов С. К., Богомолов А. В., Зинкин В. Н., Драган С. П. Проблемы обеспечения акустической безопасности персонала авиационной промышленности // Безопасность труда в промышленности. 2014. № 10. С. 58–60.
12. Зинкин В. Н., Шешегов П. М. Авиационный шум: риск нарушения здоровья человека и меры профилактики // Защита от повышенного шума и вибрации : сб. докл. VI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. СПб., 2017. С. 493–521.
13. Харитонов В. А., Зинкин В. Н., Драган С. П. Динамика акустической обстановки в кабине экипажа воздушного судна // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2021. № 2. С. 20–29.
14. Зинкин В. Н., Шешегов П. М., Сливина Л. П. Обоснование выбора средств индивидуальной защиты для инженерно-авиационных специалистов государственной авиации // Безопасность труда в промышленности. 2020. № 7. С. 54–59.
15. Шешегов П. М., Жданько И. М., Филатов В. Н., Зинкин В. Н. Костная проводимость звука и ее возможности для скрытой передачи речевой информации // Вопросы оборонной техники. Сер. 16: Технические средства противодействия терроризму. 2019. № 9–10 (135–136). С. 111–119.
16. Шешегов П. М., Зинкин В. Н. Костная проводимость звука и ее возможности // Защита от повышенного шума и вибрации : сб. докл. VII Всерос. конф. с междунар. участием. СПб., 2019. С. 765–780.
17. Зинкин В. Н., Солдатов С. К., Шешегов П. М. [и др.]. Шум как фактор риска снижения работоспособности и профессиональной надежности авиационных специалистов // Проблемы безопасности полетов. 2014. № 8. С. 3–28.
18. Драган С. П. Современные проблемы оценки акустической эффективности средств индивидуальной защиты от шума // Системный анализ в медицине (САМ 2016) : материалы X Междунар. науч. конф. Благовещенск, 2016. С. 171–175.
19. Драган С. П., Зинкин В. Н., Богомолов А. В. [и др.]. Акустической эффективности средств защита от шума // Медицинская техника. 2013. № 3. С. 34–36.
20. Зинкин В. Н., Солдатов С. К., Ахметзянов И. М. [и др.]. Методология исследования эффективности средств индивидуальной защиты от шума в расширенном частотном диапазоне // Безопасность жизнедеятельности. 2013. № 7. С. 2–8.
21. Сливина Л. П., Куклин Д. А., Матвеев П. В. [и др.]. Инфразвук и низкочастотный шум как вредные производственные факторы // Безопасность труда в промышленности. 2020. № 2. С. 24–30.
22. Шешегов П. М., Зинкин В. Н., Сливина Л. П. Авиационный шум как ведущий фактор, влияющий на заболеваемость и профессиональные риски у инженерно-технического состава // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2018. Т. 52, № 3. С. 62–68.
23. Шешегов П. М., Зинкин В. Н., Сливина Л. П. Авиационный шум: особенности формирования и профилактики нейросенсорной тугоухости у авиационных специалистов Военно-воздушных сил // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2019. Т. 53, № 3. С. 49–56.

References

1. Stoyanovich I.S. Measurement of noise and vibration in the cockpit of the Mi-8 helicopter. *Vojnotehncki glasnik. Military technical courier*. 2016;64(1):176–195.
2. Kharitonov V.A., Mishchenko A.A., Pirozhkov M.V. [et al.]. Methodological approaches for assessing the operational situation inside the Mi-8 helicopter. *Problemy bezopasnosti poletov = Problems of flight safety*. 2020;(10):39–59. (In Russ.)
3. Ivanov N.I. *Vertolety. Inzhenernaya akustika. Teoriya i praktika bor'by s shumom: uchebnyk = Helicopters. Engineering acoustics. Theory and practice of noise control : textbook*. 3rd ed. rev. and suppl. Moscow: Logos, 2013:387–388. (In Russ.)
4. Sheshegov P.M. Professional risks of aviation specialists of the Air Force. *Problema bezopasnosti poletov = The problem of flight safety*. 2016;(2):3–25. (In Russ.)

5. Soldatov S.K., Zinkin V.N., Bogomolov A.V. [et al.]. *Fundamental'nye i prikladnye aspekty aviatsionnoy meditsinskoy akustiki = Fundamental and applied aspects of aviation medical acoustics*. Moscow: Fizmatlit, 2019:216. (In Russ.)
6. Zinkin V.N., Sheshegov P.M. Modern problems of noise in aviation. *Problemy bezopasnosti poletov = Problems of flight safety*. 2014;(5):3–25. (In Russ.)
7. Zhdanko I.M., Zinkin V.N., Soldatov S.K. [et al.]. Fundamental and applied aspects of preventing the adverse effects of aviation noise. *Human Physiology*. 2016;42(7):705–714.
8. Zinkin B.N., Mironov V.G., Soldatov S.K., Sheshegov P.M. Features of the pathological effect of aviation noise on the hearing organ of aviation engineering personnel. *Rossiyskaya otorinolaringologiya = Russian otorhinolaryngology*. 2007;(6):69–74. (In Russ.)
9. Kharitonov V.V., Zhdan'ko I.M., Filatov V.N., Sheshegov P.M. Requirements for means of individual noise protection for specialists of the engineering and aviation service of state aviation. *Problemy bezopasnosti poletov = Problems of flight safety*. 2020;(6):12–28. (In Russ.). Available at: <https://www.elibrary.ru/contents.asp?id=43102218&selid=43102226>
10. McKinley R., Bjorn V., Hall J. *Improved Hearing Protection for Aviation Personal. 2005. In New Directions for Improving Audio Effectiveness (pp. 13-1 – 13-12). Meeting Proceedings RTO-MP-HFM-123, Paper 13*. Neuilly-sur-Seine, France: Available at: <http://www.rto.nato.int/abstracts.apc.html> (accessed 12.01.2017).
11. Soldatov S.K., Bogomolov A.V., Zinkin V.N., Dragan S.P. Problems of ensuring acoustic safety of aviation industry personnel. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti = Occupational safety in industry*. 2014;(10):58–60. (In Russ.)
12. Zinkin V.N., Sheshegov P.M. Aviation noise: the risk of human health disorders and preventive measures. *Zashchita ot povyshennogo shuma i vibratsii: sb. dokl. VI Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem = Protection from increased noise and vibration : collection of reports VI All-Russian Scientific and practical conference with international participation*. Saint Petersburg, 2017:493–521. (In Russ.)
13. Kharitonov V.A., Zinkin V.N., Dragan S.P. Dynamics of the acoustic situation in the cockpit of an aircraft. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurement. Monitoring. Management. Control*. 2021;(2):20–29. (In Russ.)
14. Zinkin V.N., Sheshegov P.M., Slivina L.P. Justification of the choice of personal protective equipment for engineering and aviation specialists of state aviation. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti = Occupational safety in industry*. 2020;(7):54–59. (In Russ.)
15. Sheshegov P.M., Zhdan'ko I.M., Filatov V.N., Zinkin V.N. Bone conduction of sound and its possibilities for hidden transmission of speech information. *Voprosy oboronnoy tekhniki. Ser. 16: Tekhnicheskie sredstva protivodeystviya terrorizmu = Issues of defense technology. Ser. 16: Technical means of countering terrorism*. 2019;(9–10):111–119. (In Russ.)
16. Sheshegov P.M., Zinkin V.N. Bone conduction of sound and its capabilities. *Zashchita ot povyshennogo shuma i vibratsii: sb. dokl. VII Vseros. konf. s mezhdunar. uchastiem = Protection from increased noise and vibration : collection of reports of the VII All-Russian Conference with international participation*. Saint Petersburg, 2019:765–780. (In Russ.)
17. Zinkin V.N., Soldatov S.K., Sheshegov P.M. [et al.]. Noise as a risk factor for reducing the efficiency and professional reliability of aviation specialists. *Problemy bezopasnosti poletov = Problems of flight safety*. 2014;(8):3–28. (In Russ.)
18. Dragan S.P. Modern problems of evaluating the acoustic effectiveness of means of individual noise protection. *Sistemnyy analiz v meditsine (SAM 2016): materialy X Mezhdunar. nauch. konf. = System analysis in medicine (SAM 2016) : materials of the X International Scientific Conference*. Blagoveshchensk, 2016:171–175. (In Russ.)
19. Dragan S.P., Zinkin V.N., Bogomolov A.V. [et al.]. Acoustic efficiency of means of noise protection. *Meditsinskaya tekhnika = Medical equipment*. 2013;(3):34–36. (In Russ.)
20. Zinkin V.N., Soldatov S.K., Akhmetzyanov I.M. [et al.]. Methodology for investigating the effectiveness of personal protective equipment against noise in the extended frequency range. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti = Life safety*. 2013;(7):2–8. (In Russ.)
21. Slivina L.P., Kuklin D.A., Matveev P.V. [et al.]. Infrasound and low-frequency noise as harmful production factors. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti = Occupational safety in industry*. 2020;(2):24–30. (In Russ.)
22. Sheshegov P.M., Zinkin V.N., Slivina L.P. Aviation noise as a leading factor affecting morbidity and occupational risks in engineering and technical personnel. *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina = Aerospace and environmental medicine*. 2018;52(3):62–68. (In Russ.)
23. Sheshegov P.M., Zinkin V.N., Slivina L.P. Aviation noise: features of formation and prevention of sensorineural hearing loss in aviation specialists of the Air Force. *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina = Aerospace and environmental medicine*. 2019;53(3):49–56. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Владимир Васильевич Харитонов

кандидат технических наук,
доцент кафедры испытаний
летательных аппаратов,
филиал «Взлет» Московского
авиационного института
(Государственного технического университета)
(Россия, Астраханская область, г. Ахтубинск,
ул. Добролюбова, 5)
E-mail: haritonovvladimir@yandex.ru

Vladimir V. Kharitonov

Candidate of technical sciences,
associate professor of the sub-department
of aircraft testing,
Vzlet Branch of the Moscow Aviation Institute
of the State Technical University
(5 Dobrolyubova street, Akhtubinsk,
Astrakhan region, Russia)

Павел Михайлович Шешегов

доктор медицинских наук,
профессор кафедры профильных
гигиенических дисциплин,
Волгоградский государственный
медицинский университет
(Россия, г. Волгоград, Площадь павших борцов, 1)
E-mail: sheshegov.pavel@yandex.ru

Pavel M. Shishegov

Doctor of medical sciences,
professor of the sub-department
of specialized hygienic disciplines,
Volgograd State Medical University
(1 Fallen Fighters Square, Volgograd, Russia)

Валерий Николаевич Зинкин

доктор медицинских наук, профессор,
консультант кафедры профильных
гигиенических дисциплин,
Волгоградский государственный
медицинский университет
(Россия, г. Волгоград, Площадь павших борцов, 1)
E-mail: zinkin-vn@yandex.ru

Valery N. Zinkin

Doctor of medical sciences, professor,
consultant of the sub-department of specialized hy-
gienic disciplines,
Volgograd State Medical University
(1 Fallen Fighters Square, Volgograd, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 17.06.2021

Поступила после рецензирования/Revised 24.06.2021

Принята к публикации/Accepted 29.09.2021