

УДК: 625.098

OECD: 2.03

Вертолетный шум и его особенности: механизмы образования, последовательность обработки акустических сигналов, гигиеническая оценка и защита

Зинкин В.Н.^{1*}, Драган С.П.², Дроздов С.В.³, Харитонов В.В.⁴

¹ Д.м.н., профессор консультант Волгоградский государственный медицинский университет,
г. Волгоград, РФ

² Д.т.н., заведующий отделом

³ Старший научный сотрудник

⁴ К.т.н., доцент Филиала «Взлёт» Московского авиационного института (государственного технического университета), г. Ахтубинск, РФ

^{2,3} ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА г. Москва, РФ

Аннотация

Основными источниками шума вертолета МИ-8 являются турбовальные двигатели, трансмиссия и винты. Шумы отличаются по механизму их образования, что создает основу для формирования сложного акустического сигнала. Вертолетный шум имеет свои «специфические» особенности, которые создают трудности для гигиенической оценки на рабочих местах внутри вертолета. Необходимо соблюдать определенную методическую последовательность при обработке параметров вертолетного шума. Условия труда внутри вертолета по шуму соответствуют вредным (класс 3.1-3.4), а по инфразвуку – допустимому (класс 2) и вредному (класс 3.1-3.2). Наличие на рабочих местах вертолетных экипажей совокупности вредных факторов в виде шума, инфразвука и общей вибрации надо рассматривать как риск их здоровью. Уровни шума на рабочих местах в вертолете превышают нормативные значения, что требует использования средств индивидуальной защиты. Существующие защитные шлемы у экипажей вертолетов не обеспечивают достаточную акустическую безопасность, что требует их совершенствования.

Ключевые слова: вертолет, шум, инфразвук, класс условий труда, риск здоровью, средства защиты.

Helicopter noise and its features: mechanisms of formation, sequence of acoustic signal processing, hygienic assessment and protection

Zinkin V.N.^{1*}, Dragan S.P.², Drozdov S.V.³, Kharitonov V.V.⁴

¹ M.D., professor consultant Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia

² DSc, head of the Department

³ Senior researcher department

^{2,3} of the A.I. Burnazyan Federal State Budgetary Research Center FMBA, Moscow, Russia

⁴ PhD, associate Professor Branch 'Vzlet' of the Moscow Aviation Institute (State Technical University), Akhtubinsk, Russia

Abstract

The main noise sources of the MI-8 helicopter are turboshaft engines, transmission and propellers. Noises differ in the mechanism of their formation, which creates the basis for the formation of a complex

acoustic signal. Helicopter noise has its own "specific" features that create difficulties for hygienic assessment at workplaces inside the helicopter. It is necessary to observe certain methodical sequence when processing helicopter noise parameters. The working conditions inside the helicopter correspond to harmful noise (class 3.1-3.4), and according to infrasound - permissible (class 2) and harmful (class 3.1-3.2). The presence of a combination of harmful factors in the form of noise, infrasound and general vibration in the workplaces of helicopter crews should be considered as risk to their health. Noise levels at workplaces in the helicopter exceed the regulatory values, which requires the use of personal protective equipment. The existing protective helmets of helicopter crews do not provide sufficient acoustic safety, which requires their improvement.

Keywords: *helicopter, noise, infrasound, class of working conditions, health risk, protective equipment.*

Введение

Одной из особенностей современной авиации является большое количество источников шума. Основным источником шума являются силовые установки воздушных судов (ВС). Систематическое действие шума как вредного фактора на авиационных специалистов в процессе их профессиональной деятельности приводит к развитию у них шумовой патологии. Наличие источников высокоинтенсивного шума требует гигиенического контроля рабочих мест авиационных специалистов [1-4].

Вертолеты относятся к одному из самых массовых видов ВС. Наличие на борту вертолета нескольких источников генерации шума, отличающихся механизмом образования, обуславливают специфические особенности вертолетного шума. Сложный спектральный состав шума требует правильности его регистрации, последовательности обработки и оценки полученных параметров [5-7].

Представление о механизмах образования шума внутри вертолета позволит разработать технические способы его снижения, предупредит вредное действие на работоспособность экипажа, уменьшит риск заболеваний, что будет способствовать безопасности полетов [8-10].

Защитные шлемы (ЗШ) у членов экипажа вертолета предназначены для защиты головы от механических воздействий, а также для обеспечения связи внутри вертолета и с руководителями полетов. Кроме того, они снижают вредное действие шума на орган слуха и вероятность развития профессиональной тугоухости [11-13].

Цель работы: изучить акустические особенности шума на рабочих местах персонала вертолета Ми-8, механизмы его образования, обосновать последовательность его обработки, дать оценку условиям труда и эффективности средств защиты.

1. Методы исследования

В качестве объекта исследований был выбран центральный салон МИ-8, в котором проводили акустические измерения при работе силовой установки в наземных условиях в различных режимах ее работы (запуск, «малый газ» и «правая коррекция»). Измерения проводили цифровым шумомером SVAN-945A (анализатор спектра 1 класса) и микрофоном типа GRAS 40AZ в соответствии с СанПиНом 2.2.4.3359-16, 1.2.3685-21 [14, 15] и СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [16]. Шесть микрофонов, расположенные на стойках на высоте 1,2 м от поверхности пола, разместили рядом с откидными креслами вдоль обоих бортов центрального отсека (по тексту это точки 1-6).

Обработку результатов акустических измерений проводили, руководствуясь положениями [14-16]. Для гигиенической оценки акустической обстановки по шуму

использовали эквивалентный уровень звука ($L_{A_{\text{ЭКВ}}}$, дБА); максимальный уровень звука (УЗ) по шкале "А", измеренные с временными коррекциями "медленно" - S ($L_{SA \text{ max}}$, дБА) и "импульс" - I ($L_{iA \text{ max}}$, дБА) и пиковый УЗ по шкале "С" (Пик С, дБС), а для инфразвука (ИЗ) – эквивалентные уровни звукового давления (УЗД) за рабочую смену в октавных полосах частот 2, 4, 8, 16 Гц - $L_{p,1/1,eq,8h}$, дБ; эквивалентный общий уровень ИЗ за рабочую смену ($L_{p,ZI,eq,8h}$, дБ) и максимальный общий уровень ИЗ, измеренный с временной коррекцией S (медленно). Анализ спектра акустических сигналов проводили по линейной шкале в октавных и 1/3 октавных частотных полосах.

В наземных условиях была проведена регистрация акустических параметров шумомером внутри транспортного отсека вертолета при работе силовой установки в режимах запуск, «малый газ» и «правая коррекция». Обработку акустических сигналов проводили в определенной последовательности. В начале определили УЗД в инфра- и звуковом диапазонах и рассчитали параметры, рекомендуемые [14-16]. На основании их анализа была дана гигиеническая оценка акустической обстановки и условий труда на рабочих местах в вертолете [17].

2. Результаты измерений акустических параметров в центральном отсеке вертолета МИ-8 при работе силовой установки в различных режимах

Установлено, что при работе силовой установки в режиме «запуск двигателя» УЗД в точке 1 внутри отсека изменялись от 75,1 до 90,6 дБ в октавных полосах от 31,5 до 8000 Гц. Наличие акустических колебаний во всем звуковом диапазоне указывало на широкополосный характер шума. Наиболее высокие УЗД зарегистрированы в октавной полосе 500 Гц (88,3 дБ) и 1000 Гц (90,6 дБ) с превышением предельно допустимого уровня (ПДУ) на 1-6 дБ.

В режиме «малый газ» (мощность работы двигателя 68–71%) УЗД в точках 1 и 6 находился в диапазоне от 74,6 до 89,4 дБ на всех регистрируемых частотах, что свидетельствовало о наличии широкополосного шума. Максимум спектра приходится на область низких (500 Гц) и средних (1000-2000 Гц) частот с превышением ПДУ на 1-3 дБ. Различие УЗД между точками 1 и 6 практически отсутствует. Как видно, увеличение мощности силовой установки с 18 % (при запуске двигателя) до 71 % (режим «малый газ») не сопровождалось увеличением интенсивности шума.

На рисунке 1 представлена гистограмма УЗД шума в отсеке вертолета при работе силовой установки в режиме «правой коррекции» (мощность работы двигателя 83-84 %).

На рисунке цветом обозначены точки измерения 1-6 и ПДУ - предельно допустимые уровни УЗД в октавных полосах частот.

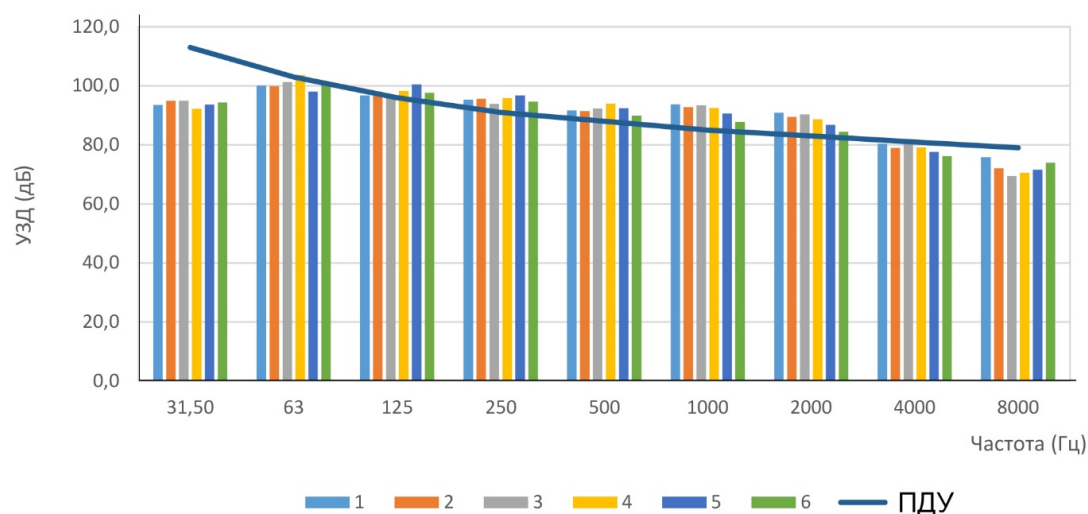


Рис. 1. Уровни звукового давления звука в отсеке вертолета Ми-8 при работе силовой установки в режиме «правой коррекции»

Из рис. 1 следует, в режиме «правой коррекции» в отсеке вертолета имеется шум во всех точках, УЗД которого колеблется от 70,6 дБ до 103,7 дБ во всем частотном диапазоне, тем самым указывая на наличие широкополосного интенсивного шума. Наиболее высокие УЗД (свыше 90 дБ) приходятся на частоты 31,5-2000 Гц, а минимальные - 8000 Гц (ниже 80 дБ). Максимальная мощность спектра приходится на область низких и средних частот. В точке 1 УЗД достиг наибольших величин практически во всем диапазоне частот. УЗД в октавных полосах от 63 Гц до 2000 Гц превышают ПДУ на 1-9 дБ. В остальных октавных полосах УЗД в норме. Разница УЗД в точках измерения изменяется в октавах от 2 до 6 дБ.

Из вышеизложенного следует, что в центральном отсеке вертолета образуется широкополосный шум при всех режимах работы силовой установки. Причиной его образования является работа турбин за счет выброса нагретых воздушных потоков. Наибольших значений УЗД достигает на максимуме мощности работы турбин в режиме «правой коррекции». При снижении мощности работы турбин интенсивность шума существенно уменьшается (на 3-10 дБ), особенно в области низких частот. Зависимость интенсивности шума от мощности работы силовой установки вертолета прямо указывает на газодинамическую природу генерации шума внутри вертолета.

Установлено, что при работе силовой установки на режиме «малый газ» и «запуск» в центральном отсеке образуется ИЗ во всех октавных полосах от 2 до 16 Гц, то есть он имеет широкополосный характер. Наибольших величин УЗД достиг в области 8 и 16 Гц (94 и 90 дБ соответственно), но не превышает ПДУ. Увеличение мощности работы турбин с 18 % (запуск двигателя) до 71 % (режим «малый газ») практически не сопровождается увеличением интенсивности ИЗ (по аналогии с шумом).

На рис. 2 представлена гистограмма УЗД инфразвука в отсеке вертолета при работе силовой установки в режиме «правой коррекции» (мощность работы двигателя 83-84 %).

На рисунке цветом обозначены точки 1 - 6 и ПДУ УЗД в октавных полосах частот в средствах транспорта в соответствии с [15].

Из рис. 2 следует, что в этом режиме во всех исследуемых точках центрального

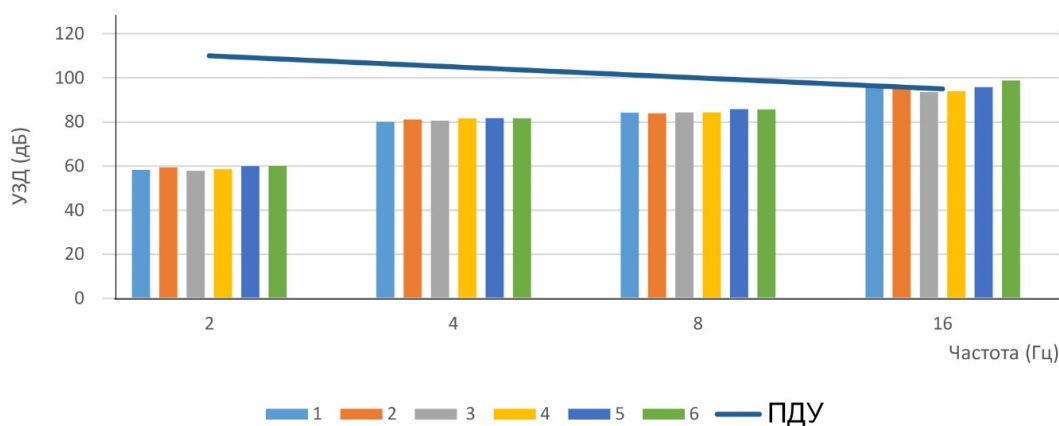


Рис. 2. Уровни звукового давления инфразвука в отсеке вертолета Ми-8 при работе силовой установки в режиме «правой коррекции»

отсека вертолета имеется ИЗ, УЗД которого изменялся от 57,9 до 98,8 дБ. Наибольшей величины он достиг в октавной полосе 16 Гц (98,8 дБ), а минимальный - 2 Гц (57,9 дБ). Превышение ПДУ (на 3,8 дБ) выявлено только в октавной полосе 16 Гц. Полученные результаты показывают, что ИЗ в центральном отсеке независимо от режима работы двигателя широкополосный. Наибольших величин он достигает на максимуме мощности работы турбин, то есть в режиме «правой коррекции», а при снижении мощности интенсивность ИЗ существенно уменьшается (на 8 дБ).

Итак, при работе двигателей вертолета в отсеке имеет место интенсивный широкополосный шум, который можно охарактеризовать как низко-среднечастотный. Особенностью этого шума является наличие в спектре широкополосного ИЗ. Шум превышает ПДУ до 8 дБ, поэтому он является интенсивным и сверхнормативным. Его формирование начинается с запуска двигателя, длительность которого не превышает 5 мин. В режим «малый газ» силовая установка вертолета работает не более 2 мин. Режим «правой коррекции» длится от 2,5 до 4 ч, то есть личный состав, находящийся на борту вертолета, практически весь период полета (95% от общего времени полета) подвергается интенсивному шуму, превышающий ПДУ. Изменение УЗД в отсеке не превышает 5 дБА, то есть вертолетный шум можно охарактеризовать как постоянный.

Таким образом, вертолетный шум на рабочих местах имеет следующие характеристики: широкополосный, постоянный, интенсивный, наличие инфразвуковой составляющей. Наличие максимумом в области низких (63-250 Гц) и средних частот (500-1000 Гц) позволяет вертолетный шум отнести к низко-среднечастотному шуму. Широкополосный спектр шума указывает на газодинамическое происхождение в результате работы турбин, которые расположены в верхней части по центру фюзеляжа. Подтверждается это следующим:

- снижение мощности турбин приводит к уменьшению шума в центральном отсеке;
- широкополосность в звуковом и инфразвуковом диапазонах обусловлена истечением из сопла турбин высокоскоростных нагретых газовых потоков.

3. Гигиеническая оценка акустической обстановки внутри вертолета МИ-8

Как было показано выше, персонал вертолета подвергается влиянию шума в основном во время полета, поэтому параметры «режима правой коррекции» необходимо использовать для расчета нормируемых акустических параметров для рабочих мест внутри отсеков вертолета (см. табл. 1).

Таблица 1

Гигиенические параметры шума внутри вертолета при работе силовой установки в режиме «правой коррекции»

Точка измерения	Нормируемые акустические параметры			
	$L_{A_{ЭКВ}}$, дБА	L_{SA} max, дБА	L_{iA} max, дБА	Пик С, дБС
1	97,4	99,4	105,5	118,3
2	96,5	97,7	103,4	117,3
3	97,0	99,5	105,3	118,2
4	96,8	97,4	103,7	118,9
5	95,5	96	102,3	117,3
6	93,0	93,6	98,0	117,2
ПДУ	80	110	125	137

Примечание : Жирным шрифтом выделены значения, превышающие ПДУ [15].

Из табл. 1 следует, что при летной смене 8 ч $L_{A_{ЭКВ}}$ во всех точках центрального салона выше ПДУ (80 дБА) на 13,0-17,4 дБА. При снижении полетного времени до 2,5 ч величина $L_{A_{ЭКВ}}$ увеличится приблизительно до 95 дБА и практически будет соответствовать фактической величине $L_{A_{ЭКВ}}$ в салоне вертолета (93-97,4 дБА). Поэтому полетное время свыше 2,5 ч будет превышать безопасное время, а личный состав будет подвергаться сверхнормативному действию шума, что требует использования средства индивидуальной защиты (СИЗ) от шума [15, 16].

Шум в центральном отсеке вертолета не является импульсным. Это следует из того, что максимальные уровни звука в точках 1-6, зарегистрированные с временной коррекцией S (93,6-99,5 дБА) и I (98,0-105,5 дБА), не превышают ПДУ соответственно 110 дБА и 125 дБА [15, 16], разница между этими параметрами не превышает 7 дБА, а пиковые УЗ ниже ПДУ 137 дБС (см. табл.1).

Проверка вертолетного шума на соответствие его тональному шуму [14, 15] показала наличие в спектре тонов, что объясняется наличием винтов. Несущий винт вращается с частотой 178–186 оборотов/минуту в режиме работы двигателя «правой коррекции», то есть с частотой около 3 Гц. Наличие у него пяти лопастей способствует образованию тонального шума с частотой 15-16 Гц (это первая гармоника) и последующих: второй - тон с частотой 32 Гц, третьей - 48 Гц, четвертой - 68 Гц (64 Гц), шестой - 97 Гц (96 Гц), седьмой - 111 Гц (112 Гц) и десятой - 166 Гц (160 Гц). В скобках указана расчетная частота гармоники. Причиной колебания частоты гармоник может быть девиация вращения несущего винта от 178 до 186 оборотов/минуту. Кроме того, вращение хвостового винта (частота вращения винта \sim 1190 оборотов/минуту и наличие 3 лопастей) может оказывать влияние на образование тоновых сигналов внутри вертолета.

Необходимо рассмотреть в качестве механизма формирования тонального сигнала возможность формирования резонанса в центральном отсеке вертолета. Этот феномен

возникает из-за того, что фюзеляж вертолета находится в поле действия интенсивного акустического поля с наличием в спектре низких частот и ИЗ, длина волн которых соизмерима с геометрическими размерами салонов.

В соответствии с требованиями [14, 15] был проведен анализ 1/3 октавный анализ зарегистрированных сигналов внутри вертолета, что позволило утверждать о наличии тонального шума на частотах 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100 и 125 Гц в точках 1-6. УЗД находился в диапазоне от 85,3 дБ (точка 5) до 103,7 дБ (точка 4). Выявлено превышение уровня в 1/3-октавных полос с центральными частотами 25 и 32 Гц в точке 2, а также - 50 Гц и 63 Гц в точке 4 над соседними частотами более чем на 10 дБ. Полученные результаты позволяют утверждать, что тональный шум присутствует в центральном отсеке вертолета, а основной причиной его образования является вращение винтов.

Считаем, что необходимо продолжить исследования механизмов образования тонов внутри вертолета для поиска оптимальных путей их снижения. Кроме предложенных выше методов, регистрацию вертолетного шума надо проводить одновременно снаружи и внутри с обязательной временной синхронизацией шумомеров снаружи и внутри вертолета при наличии данных о частоте вращения винтов. Это позволит определить природу тонов при спектральном анализе акустических сигналов.

Выше было показано, что максимум спектральной плотности вертолетного шума находится в диапазоне низких частот. При регистрации такого низкочастотного шума шумомером с использованием шкалы «А» за счет фильтров снижается УЗД на низких частотах, то есть интенсивность ($L_{A_{\text{экв}}}$) акустического сигнала будет занижена. Поэтому она не соответствует реальному действию шума на человека, так как не учитываются биологические эффекты присущие ИЗ и низкочастотным колебаниям [18–21].

В табл. 2 приведены параметры ИЗ, которые были измерены в отсеке вертолета для гигиенической оценки условий труда согласно [14-16]. Дополнительно в ней имеется общий УЗД ($L_{\text{УЗД}}$), который измеряется по линейной шкале в диапазоне от 2-8000 Гц, то есть с учетом низкочастотного и инфразвукового диапазонов вертолетного шума.

Таблица 2

Гигиенические параметры инфразвука в отсеке вертолета при работе силовой установки в режиме «правой коррекции»

Точки измерения	УЗД (дБ) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами (Гц)				$L_{p,ZI,eq}$, дБ ($L_{\text{инфр}}$)	L_S max, дБ	$L_{\text{УЗД}}$ дБ Лин
	2	4	8	16			
1	58,2	80,1	84,3	95,9	98,5	107,5	105,1
2	59,4	81,2	83,9	95,8	98,9	106,4	105,1
3	57,9	80,5	84,4	93,6	97,1	107,3	105,4
4	58,6	81,6	84,4	93,9	97,8	107,7	106,6
5	59,9	81,7	85,8	95,8	98,4	107,3	105,3
6	60,0	81,6	85,7	98,8	102,2	108,0	105,6
ПДУ*	100	95	90	85	100	120	-

Примечание : жирным шрифтом выделены величины, превышающие ПДУ.

Как следует из табл. 2, величина УЗД инфразвука в октавных полосах 2, 4, 8 Гц во всех точках отсека ниже ПДУ. Превышение последнего на 8,6-13,8 дБ выявлено только в октавной полосе с частотой 16 Гц во всех точках. Не выявлено превышения общего УЗД ИЗ ($L_{p,ZI,eq}$) и максимального УЗД (L_S max), кроме точки 6, в которой $L_{\text{инфр}}$ превысил норму на 2,2 дБ. Изменение УЗД в точках 1-6 отсека в октавном диапазоне ИЗ

не превышает 1,5 дБ. Поэтому инфразвуковой шум на рабочих местах в вертолете можно характеризовать как широкополосный и равномерный.

Сравнение величины $L_{УЗД}$ (105,1-106,6 дБ Лин) (см. табл. 2) с величиной $L_{АЭКВ}$ (93,0-97,4 дБА) (см. табл. 1) показывает превышение первого параметра над вторым на 10 дБ. На основании данного критерия можно утверждать, что максимум спектральной плотности вертолетного шума приходится на диапазон ИЗ и/или низких частот. Это указывает на необходимость проведения измерения УЗД не только в звуковом диапазоне, но и в инфразвуковом и регистрации сигнала для последующего спектрального анализа.

Сравнение параметра $L_{УЗД}$ (дБ Лин) с величиной параметра $L_{p,ZI,eq}$, показывает его превышение на 3-9 дБ (см. табл. 2). Первый показывает акустическую нагрузку на человека не только в звуковом диапазоне, но и в инфразвуковом.

Таким образом, спектральный анализ вертолетного шума позволил проанализировать характер шума внутри салона. Показано, что широкополосный шум сочетается с интенсивными тонами, механизм образования которых связан с работой винтов. При определении $L_{АЭКВ}$ тонального шума в салоне вертолета надо учитывать поправку k_i (5 дБ при $L_{p,Aeq,T_i} > 75$ дБА) [14, 15]. Присутствие в спектре вертолетного шума инфразвуковой компоненты показывает необходимость регистрации с последующей гигиенической оценкой как шума, так и ИЗ. Необходимо учитывать, что наличие в вертолетном шуме акустических колебаний звукового и инфразвукового диапазонов будет приводить к сочетанию и кумуляции вредных эффектов, присущих шуму и ИЗ [22–24].

4. Оценка условий труда на рабочих местах вертолета Ми-8

Профессиональная деятельность летного состава протекает в условиях действия комплекса вредных и опасных факторов, что создает трудности при оценке условий труда. Установлено, что профессиональная деятельность экипажей ВС соответствует вредному классу напряженного труда (класс 3.2) [3, 25], а по показателям вредности и опасности факторов производственной среды - вредным (класс 3.1-3.4) и опасному (класс 4) классам условиям труда (КУТ), то есть она происходит в условиях высокого риска развития профессиональных заболеваний. Установлено, что среди вредных факторов у авиационных специалистов доминирует шум [1, 26].

На основании результатов акустических измерений и рекомендаций [17] определен КУТ для переднего и центрального отсеков МИ-8 (см. табл. 3).

Таблица 3

Классы условий труда по шуму и инфразвуку на различных рабочих местах внутри вертолета Ми-8

Место измерения	Шум ($L_{АЭКВ}$ дБА)				Инфразвук ($L_{p,ZI,eq}$, дБ)			
	Уровень	ПДУ	Δ (дБ)	КУТ	Уровень	ПДУ	Δ (дБ)	КУТ
Центральный отсек	98-102	80	18-22	3.3-3.4	97-102	100	2	3.1
Кабина экипажа	98-102	80	18-22	3.3-3.4	97-102	95*	2-7	3.1-3.2

Примечание : Δ – превышение фактической величины над ПДУ; * - ПДУ на рабочих местах «различной степени интеллектуально-эмоциональной напряженности» [15, 16].

В табл. 3 $L_{A_{экв}}$ (с учетом поправки K_i) находится в пределах 98-102 дБ в различных точках центрального отсека и Δ составит 18-22 дБ. Такая величина превышения ПДУ шума будет соответствовать вредному КУТ (класс 3.3–3.4). Для ИЗ превышения ПДУ составило 2 дБ и это соответствует вредному КУТ (класс 3.1).

Несмотря на отсутствие измерений акустических параметров в кабине вертолета, можно дать оценку рабочих мест в кабине экипажа, которая представляет собой передний отсек фюзеляжа вертолета. Размеры переднего отсека (объем около 9 м³) меньше центрального (объем около 23 м³), и они разделены тонкой перегородкой, не обладающей звукоизоляцией. Близкие параметры салонов вертолета, одни и те же источники шума позволяют прогнозировать, что акустическая обстановка в обоих отсеках вертолета будет близкая. Поэтому можно прогнозировать, что экипаж вертолета будет подвергаться вредному действию шума и ИЗ, как и личный состав центрального отсека. Δ по шуму составит 18-22 дБ и будет соответствовать КУТ вредному (классу 3.3-3.4). Для оценки КУТ по ИЗ была использована величина ПДУ 95 дБ, которая согласно [15, 16] является величиной для рабочих мест «различной степени интеллектуально-эмоциональной напряженности». Как было показано выше, профессиональная деятельность экипажей ВС соответствует вредному классу напряженного труда (класс 3.2). Поэтому считаем целесообразным для экипажей вертолетов в качестве ПДУ применять величину 95 дБ. В этом случае величина Δ составит 2-7 дБ, что соответствует КУТ по ИЗ вредному (классу 3.1-3.2). Из представленных выше данных, следует, что КУТ внутри отсеков вертолета по шуму и ИЗ соответствуют вредному классу. Поэтому профессиональная деятельность экипажей вертолетов во вредных условиях труда представляет высокий риск их здоровью [27-30].

5. Защита экипажа от вредного действия вертолетного шума

Приведенные выше результаты измерений показывают, что личный состав вертолетов подвергается действию шума, превышающего допустимую величину, что, согласно санитарным правилам требует применение СИЗ от шума [15, 16]. Интенсивный характер вертолетного шума и наличие в его спектре низких и инфразвуковых частот предполагают, что противошумы должны перекрыть поступления шума в орган слуха не только воздушным путем, но и костным [11, 31, 32].

В настоящее время на снабжении армейской авиации (вертолеты) в качестве СИЗ от шума используются ЗШ (тип ЗШ-17В, ЗШ-7В и др). Их звукоизоляция (до 30-40 дБ) эффективна на высоких частотах (6000-8000 Гц), а в области на низких частотах (125-500 Гц) она недостаточна, так как не превышает 5 дБ. Поэтому ЗШ в области средних и высоких частот звукового диапазона снизят акустическую нагрузку на орган слуха летного экипажа до нормативных значений. Недостаточная эффективность ЗШ в области низких частот не обеспечит защиту от их неблагоприятного действия низкочастотной компоненты вертолетного шума. Поэтому у персонала имеется достаточно высокий риск развития тугоухости (специфическое действие шума). Кроме того, наличие интенсивного ИЗ и общей вибрации будут способствовать усилению риска вредного влияния вертолетного шума не только на орган слух, но и другие органы и системы (легкие, органы кровообращения, нервная система, орган зрения, опорно-двигательный аппарат). Риск развития у личного состава вертолетов специфической и неспецифической патологии как следствие действия вредных факторов труда и трудовой деятельности требует проведения комплекса лечебно-профилактических мероприятий, включающих периодические медицинские осмотры, диспансерное наблюдение и стационарного обследования с последующей врачебной экспертизы, и допуска к полетам [9, 33].

Недостаточная защита ЗШ в области низких частот является одной из причин

негативного влияние вертолетного шума на речь и восприятие информации летным экипажем в виде помехового и маскирующего действия. Это обусловлено тем, что частотный диапазон речи человека находится в области низких и средних частот (250-2000 Гц) и совпадает с максимумом спектра вертолетного шума. Для устранения этого недостатка и улучшения качества восприятия речевых сигналов необходимо использовать гарнитуру, которая способна осуществлять передачу звука не воздушным путем, а костным. Модификация гарнитуры обеспечит речевой контакт на оптимальном уровне при действии вертолетного шума [34-36].

Заключение

Наличие нескольких источников шума при эксплуатации вертолетов обуславливает сложный механизм его образования внутри салонов. Работа турбин сопровождается генерацией газодинамического шума, работа трансмиссии формирует механический шум, а работа винтов - винтовой шум. Наличие всех источников шума в верхней части фюзеляжа, в свою очередь, способствует образованию структурного шума, который практически без ослабления проводится во все отсеки вертолета. Последние имеют замкнутый объем, что создает условия для резонанса.

Шум, который образуется при работе силовой установки внутри вертолета, можно охарактеризовать как интенсивный и сверхнормативный (свыше 100 дБ); постоянный; широкополосный с инфразвуковой составляющей; низко- и среднечастотный (максимум спектральной энергии находится в диапазоне от 500 до 2000 Гц); неравномерный; с наличием в спектре дискретных тонов. Совокупность таких особенностей позволяет классифицировать такой шум как «вертолетный шум», который имеет существенные отличия от шумов других типов ВС [3, 7].

Сложный характер вертолетного шума затрудняет его оценку. Наличие только октавного анализа не позволит выявить все параметры, присущие этому шуму. Поэтому необходима регистрация акустического сигнала для обработки его на последующих этапах с использованием специальных программ. Обязательным элементом является спектральный анализ в октавном и 1/3-октавном диапазонах, а также определение линейного спектра. Наличие винтового шума, резонансов и низких частот надо рассматривать как причину формирования тональных сигналов. При выявлении в спектре шума тональных сигналов необходимо использовать поправку в 5 дБ для гигиенического нормирования. Получение истинной картины акустического поля внутри вертолета необходимо для выбора технических решений борьбы с шумом внутри вертолета, что требует соблюдения методики и последовательности обработки вертолетного шума.

Низкочастотный характер спектра шума и наличие инфразвуковой составляющей обуславливают проведения измерений по линейной шкале. Данный подход позволяет более объективно оценивать действие вертолетного шума на человека и определить пути борьбы с его негативными последствиями.

Вертолетный шум в силу своих особенностей создает профессиональный риск здоровью экипажей и развития у них шумовой и инфразвуковой патологии. Уровни шума и ИЗ внутри вертолета Ми-8 превышают ПДУ, что требует использования СИЗ на рабочих местах, которые способны надежно перекрывать воздушный и костный пути поступления акустических колебаний в орган слуха. Существующие табельные ЗШ для экипажей вертолетов не обеспечивают эффективную защиту органа слуха от низких и инфразвуковых частот, поэтому требуется их усовершенствование [37, 38].

Считаем, что представленные результаты исследования акустической обстановки внутри вертолета МИ-8 и рекомендации по профилактике имеют значение и для других

типов вертолетов, используемых в государственной авиации и народном хозяйстве.

Список литературы

1. Зинкин В.Н., Шешегов П.М. Современные проблемы шума в авиации // Проблемы безопасности полетов. - 2014. - № 5. - С. 3-25.
2. Жданько И.М., Зинкин В.Н., Солдатов С.К. и др. Фундаментальные и прикладные аспекты профилактики неблагоприятного действия авиационного шума // Авиакосмическая и экологическая медицина. - 2014. - Т. 48, № 4. - С. 5-16.
3. Солдатов С.К., Зинкин В.Н., Богомолов А.В. и др. Фундаментальные и прикладные аспекты авиационной медицинской акустики. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2019. - 216 с.
4. 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, No. 7. - Pp. 705-714.
5. Вертолеты // Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник / Н.И. Иванов. - 3-е изд. перераб и доп. - М.: Логос, 2013. - С. 387-388.
6. Стоянович И.С. Измерение шума и вибрации в кабине вертолета Ми-8 // Vojnotehncki glasnik / Military technical courier. - 2016. - Т. 64, № 1. - С. 176-195.
7. 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.
8. 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.
9. Зинкин В.Н., Шешегов П.М. Авиационный шум: риск нарушения здоровья человека и меры профилактики // Защита от повышенного шума и вибрации: Сборник докладов VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. - СПб., 2017. - С. 493-522.
10. Зинкин В.Н., Шешегов П.М. Механизмы действия авиационного шума на профессиональную работоспособность и надежность // Noise Theory and Practice. Scientific Journal. - 2021. - Т.7, № 2. - С. 165-182.
11. Харитонов В.В., Шешегов П.М., Зинкин В.Н. Оценка эффективности средств индивидуальной защиты головы в армейской авиации и пути их совершенствования // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. - 2022. - № 1. - С. 80-91.
12. Шешегов П.М., Зинкин В.Н., Харитонов В.А. Шум и инфразвук: ведущие вредные факторы на рабочих местах экипажей армейской авиации // Проблемы безопасности полетов. - 2020. - № 12. - С. 21-39.
13. Зинкин В.Н., Богомолов А.В., Россельс А.В., Еремин Г.И. Акустическая эффективность средств индивидуальной защиты от низкочастотного шума и инфразвука // Безопасность в техносфере. - 2013. - Т. 2, № 1. - С. 64-69.
14. СанПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах.
15. Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.562-96 "Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки".
16. Санитарные нормы СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормы и требования и обеспечение безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания".
17. Р 2.2.2006-05. Руководство, по гигиенической оценке, факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда.

18. Иванов Н.И., Зинкин В.Н., Сливина Л.П. Биомеханические механизмы действия низкочастотных акустических колебаний // Российский журнал биомеханики. - 2020. - № 2. - С. 216-231.
19. Зинкин В.Н., Свидовый В.И., Ахметзянов И.М. Неблагоприятное влияние низкочастотных акустических колебаний на органы дыхания // Профилактическая и клиническая медицина. - 2011. - № 3. - С. 280-284.
20. Zinkin V., Vasilyeva I., Bepalov V., Osetrov A. High-intensity low-frequency acoustic vibrations have the critical effect on the lung // J. Akustika. - 2019. - Vol.32. - Pp. 5-9.
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. Зинкин В.Н., Ахметзянов И.М., Драган С.П., Богомоллов А.В. Особенности сочетанного действия шума и инфразвука // Безопасность жизнедеятельности. - 2011. - № 9 (129). - С. 2-10.
23. Ахметзянов И.М., Зинкин В.Н., Петреев И.В., Драган С.П. Гигиеническая оценка сочетанного воздействия шума и инфразвука на организм военнослужащих // Военно-медицинский журнал. - 2011. - № 11. - С. 44-51.
24. Свидовый В.И., Зинкин В.Н., Солдатов С.К., Кукушкин Ю.А. Особенности условий труда и заболеваемости инженерно-технического состава авиации // Вестник Санкт-Петербургской государственной медицинской академии им. И.И. Мечникова. - 2006. - Т. 7, № 2. - С. 46-48.
25. Люцкий К.М., Зинкин В.Н., Афанасьев Р.В., Деллалов Н.Н. Влияние профессиональных факторов на заболеваемость летного и инженерно-технического состава военно-транспортной авиации // Военно-медицинский журнал. - 2008. - Т. 329, № 9. - С. 50-52.
26. Шешегов П.М., Сливина Л.П., Зинкин В.Н. Значение авиационного шума в риске развития профессиональной патологии у летно-подъемного состава Военно-воздушных сил // Медицина труда и промышленная экология. - 2020. - Т. 60, № 4. - С. 268-274.
27. Профессиональные заболевания ЛОР-органов: руководство / В.Б. Панкова, И.Н. Федина; под общ. ред. И.В. Бухтиярова, Н.А. Дайхеса. - М.: ГЭОТАР-Медиа, 2021. - 544 с.
28. Зинкин В.Н., Сливина Л.П. Риск развития нейросенсорной тугоухости у работников авиаремонтных заводов, подвергающихся воздействию шума // Безопасность труда в промышленности. - 2018. - № 1. - С. 66-71.
29. Зинкин В.Н., Солдатов С.К., Шешегов П.М. Особенности патологического действия авиационного шума на орган слуха инженерно-технического состава авиации // Вестник оториноларингология. - 2007. - № 6. - С. 25-29.
30. Шешегов П.М., Зинкин В.Н., Сливина Л.П. Авиационный шум как ведущий фактор, влияющий на заболеваемость и профессиональные риски у инженерно-авиационного состава // Авиакосмическая и экологическая медицина. - 2018. - Т. 52, № 3. - С. 62-68.
31. 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.
32. Зинкин В.Н., Богомоллов А.В., Ерёмин Г.И., Драган С.П. Технология исследования акустической эффективности средств защиты от низкочастотного шума и инфразвука // Мир измерений. - 2011. - № 10. - С. 40-45.

33. Зинкин В.Н., Шешегов П.М. Проблемы экспертизы воздействия высокоинтенсивного шума на специалистов Военно-воздушных сил // Военно-медицинский журнал. - 2012. - Т.333, № 1. - С. 45-50.
34. Шешегов П.М., Зинкин В.Н. Костная проводимость и ее возможности // Защита от повышенного шума и вибрации: сборник докладов VII Всероссийской конференции с международным участием. - 2019. - С. 765-780.
35. 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. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. - 2019. - № 9-10 (135-136). - С. 111-119.
36. Зинкин В.Н., Шешегов П.М. Технология исследования звукопоглощающей способности материалов на основе тональной аудиометрии // Медицинская техника. - 2014. - № 4 (286). - С. 43-47.
37. 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.
38. 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 (31). - С. 69-74.

References

1. Zinkin V.N., Sheshegov P.M. Modern problems of noise in aviation // Problems of flight safety. - 2014. v No. 5. - Pp. 3-25.
2. Zhdanko I.M., Zinkin V.N., Soldatov S.K. et al. Fundamental and applied aspects of prevention of the adverse effects of aviation noise // Aerospace and environmental medicine. - 2014. - Vol. 48, No. 4. - Pp. 5-16.
3. Soldatov S.K., Zinkin V.N., Bogomolov A.V. and others. Fundamental and applied aspects of aviation medical acoustics. - M.: FIZMATLIT, 2019. - 216 p.
4. 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, No. 7. - Pp. 705-714.
5. Helicopters // Engineering acoustics. Theory and practice of noise control: textbook / N.I. Ivanov. 3rd ed. pererab and add. - M.: Logos, 2013. - Pp. 387-388.
6. Stoyanovich I.S. Measurement of noise and vibration in the cockpit of the Mi-8 helicopter // Vojnotehncki glasnik / Military technical courier. - 2016. - Vol. 64, No. 1. - Pp. 176-195.
7. Kharitonov V.A., Mishchenko A.A., Pirozhkov M.V. et al. Methodological approaches for assessing the acoustic situation inside the Mi-8 helicopter // Problems of flight safety. - 2020. - No. 10. - Pp. 39-59.
8. 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 // Problems of flight safety. - 2014. - No. 8. - Pp.3-28.
9. Zinkin V.N., Sheshegov P.M. Aviation noise: the risk of human health disorders and preventive measures // Protection from increased noise and vibration: Collection of reports of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation. - SPb., 2017. - Pp. 493-522.

10. Zinkin V.N., Sheshegov P.M. Mechanisms of action of aviation noise on professional efficiency and reliability // *Noise Theory and Practice. Scientific Journal.* - 2021. - Vol. 7, No. 2. - Pp. 165-182.
11. Kharitonov V.V., Sheshegov P.M., Zinkin V.N. Evaluation of the effectiveness of head personal protective equipment in army aviation and ways to improve them // *Measurement. Monitoring. Management. Control.* - 2022. - No. 1. - Pp. 80-91.
12. Sheshegov P.M., Zinkin V.N., Kharitonov V.A. Noise and infrasound: leading harmful factors in the workplaces of army aviation crews // *Problems of flight safety.* - 2020. - No. 12. - Pp. 21-39.
13. Zinkin V.N., Bogomolov A.V., Rossels A.V., Eremin G.I. Acoustic effectiveness of personal protective equipment against low-frequency noise and infrasound // *Security in the technosphere.* - 2013. - Vol. 2, No. 1. - Pp. 64-69.
14. SanPiN 2.2.4.3359-16 Sanitary and epidemiological requirements for physical factors in the workplace.
15. Sanitary standards of SS 2.2.4/2.1.8.562-96 "Noise in workplaces, in residential, public buildings and on the territory of residential development."
16. Sanitary norms of SanPiN 1.2.3685-21 "Hygienic norms and requirements and ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans".
17. P 2.2.2006-05. Guidelines for the hygienic assessment of factors of the working environment and the labor process. Criteria and classification of working conditions.
18. Ivanov N.I., Zinkin V.N., Slivina L.P. Biomechanical mechanisms of action of low-frequency acoustic vibrations // *Russian Journal of Biomechanics.* - 2020. - No. 2. - Pp. 216-231.
19. Zinkin V.N., Svidovoy V.I., Akhmetzyanov I.M. Adverse effect of low-frequency acoustic vibrations on respiratory organs // *Preventive and clinical medicine.* - 2011. - No. 3. - Pp. 280-284.
20. Zinkin V., Vasilyeva I., Bepalov V., Osetrov A. High-intensity low-frequency acoustic vibrations have the critical effect on the lung // *J. Akustika.* - 2019. - Vol.32. - Pp. 5-9.
21. Slivina L.P., Kuklin D.A., Matveev P.V. et al. Infrasound and low-frequency noise as harmful production factors // *Occupational safety in industry.* - 2020. - No. 2. - Pp. 24-30.
22. Zinkin V.N., Akhmetzyanov I.M., Dragan S.P., Bogomolov A.V. Features of the combined effect of noise and infrasound // *Life safety.* - 2011. - No. (129). - Pp. 2-10.
23. Akhmetzyanov I.M., Zinkin V.N., Petreev I.V., Dragan S.P. Hygienic assessment of the combined effects of noise and infrasound on the body of military personnel // *Military Medical Journal.* - 2011. - No. 11. - Pp. 44-51.
24. Svidovoy V.I., Zinkin V.N., Soldatov S.K., Kukushkin Yu.A. Features of working conditions and morbidity of engineering and technical personnel of aviation // *Bulletin of the St. Petersburg State Medical Academy named after I.I. Mechnikov.* - 2006. - Vol. 7, No. 2. - Pp. 46-48.
25. Lyutsky K.M., Zinkin V.N., Afanasyev R.V., Dellalov N.N. The influence of professional factors on the morbidity of flight and engineering personnel of military transport aviation // *Military Medical Journal.* - 2008. - Vol. 329, No. 9. - Pp. 50-52.
26. Sheshegov P.M., Slivina L.P., Zinkin V.N. The importance of aviation noise in the risk of developing occupational pathology in the Air Force flight crew // *Occupational medicine and industrial ecology.* - 2020. - Vol. 60, No. 4. - Pp. 268-274.
27. Occupational diseases of ENT organs: manual / V.B. Pankova, I.N. Fedina; under the general editorship of I.V. Bukhtiyarov, N.A. Daikhesa. - M.: GEOTAR-Media, 2021. - 544 p.

-
28. Zinkin V.N., Slivina L.P. The risk of developing sensorineural hearing loss in workers of aircraft repair plants exposed to noise // Occupational safety in industry. - 2018. - No. 1. - Pp. 66-71.
29. Zinkin V.N., Soldatov S.K., Sheshegov P.M. Features of the pathological effect of aviation noise on the hearing organ of the engineering and technical staff of aviation // Bulletin of otorhinolaryngology. - 2007. - No. 6. - Pp. 25-29.
30. Sheshegov P.M., Zinkin V.N., Slivina L.P. Aviation noise as a leading factor affecting morbidity and occupational risks in engineering aviation personnel // Aerospace and environmental medicine. - 2018. - Vol. 52, No. 3. - Pp. 62-68.
31. 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 // Occupational safety in industry. - 2020. - No. 7. - Pp. 54-59.
32. Zinkin V.N., Bogomolov A.V., Eremin G.I., Dragan S.P. Technology of research of acoustic efficiency of means of protection against low-frequency noise and infrasound // The World of Measurements. - 2011. - No. 10. - Pp. 40-45.
33. Zinkin V.N., Sheshegov P.M. Problems of examination of the impact of high-intensity noise on specialists of the Air Force // Military Medical Journal. - 2012. - Vol.333, No. 1. - Pp. 45-50.
34. Sheshegov P.M., Zinkin V.N. Bone conduction and its capabilities // Protection from increased noise and vibration: collection of reports of the VII All-Russian Conference with international participation. - 2019. - Pp. 765-780.
35. Sheshegov P.M., Zhdanko I.M., Filatov V.N., Zinkin V.N. Bone conduction of sound and its possibilities for the hidden transmission of speech information // Issues of defense technology. Series 16: Technical means of countering terrorism. - 2019. - No. 9-10 (135-136). - Pp. 111-119.
36. Zinkin V.N., Sheshegov P.M. Technology for studying the sound-absorbing ability of materials based on tonal audiometry // Medical equipment. - 2014. - No. (286). - Pp. 43-47.
37. 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 // Aerospace and environmental medicine. - 2019. - Vol. 53, No. 3. - Pp. 49-56.
38. 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 the engineering and technical staff of aviation // Russian otorhinolaryngology. - 2007. - No. (31). - Pp. 69-74.