

# ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ DEVICES AND METHODS OF MEASURING

УДК 625.098

doi:10.21685/2307-5538-2021-2-3

## ДИНАМИКА АКУСТИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ В КАБИНЕ ЭКИПАЖА ВОЗДУШНОГО СУДНА

**В. В. Харитонов<sup>1</sup>, В. Н. Зинкин<sup>2</sup>, С. П. Драган<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Филиал «Взлет» Московского авиационного института, Ахтубинск, Россия

<sup>2</sup> Центральный научно-исследовательский институт Военно-воздушных сил Минобороны России, Москва, Россия

<sup>3</sup> Федеральный медицинский биофизический центр имени А. И. Бурназяна, Москва, Россия

<sup>1</sup> haritonovvladimir@yandex.ru, <sup>2</sup> zinkin-vn@yandex.ru, <sup>3</sup> s.p.dragan@mail.ru

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Целью работы являлось изучение динамики акустической обстановки в кабине летчиков современного фронтового бомбардировщика, обоснование механизмов образования шума на рабочих местах летного состава и выработка рекомендаций по акустической безопасности. *Материалы и методы.* Измерение акустических параметров проводили в кабине экипажа современного фронтового бомбардировщика в наземных условиях при подготовке его к вылету (прогрев двигателя, руление) и при выполнении полетного задания (взлет, горизонтальный полет, посадка). Акустические измерения проводили с помощью цифрового шумомера SVAN-945A (анализатор спектра 1 класса). Установлено, что в кабине воздушного судна образуется шум, который является широкополосным, интенсивным, с максимумом спектра в высокочастотной области и наличием в спектре интенсивного широкополосного инфразвука. В зависимости от этапа измерения эквивалентный уровень шума в кабине колебался от 82 до 106 дБА, а эквивалентный общий уровень звукового давления инфразвука от 90 до 107 дБ Лин. Максимальных значений эти параметры достигали при взлете воздушного судна. Рассмотрены механизмы формирования шума в кабине экипажа. Основным источником его является силовая установка. *Результаты и выводы.* Дана оценка условий труда летчиков по шуму (вредный класс 3.2) и по инфразвуку (допустимый класс 2). Защитный шлем, используемый летчиками, в том числе и как средство индивидуальной защиты от шума, обеспечивает эффективную защиту органа слуха от шума, образующегося в кабине практически на всех этапах, и создает комфортные условия для речевой связи. Результаты мониторинга акустической обстановки на рабочих местах летного состава и механизмы формирования шума должны учитываться при обосновании требований к новым образцам воздушных судов. Улучшение условий труда является одним из способов для снижения риска развития шумовой патологии, сохранения работоспособности и профессионального долголетия летного состава.

**Ключевые слова:** шум, источники, летный состав, кабина экипажа, механизмы шумообразования, защитный шлем, акустическая безопасность

**Для цитирования:** Харитонов В. В., Зинкин В. Н., Драган С. П. Динамика акустической обстановки в кабине экипажа воздушного судна // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. 2021. № 2. С. 20–29. doi:10.21685/2307-5538-2021-2-3

## DYNAMICS OF THE ACOUSTIC ENVIRONMENT IN THE COCKPIT OF THE AIRCRAFT

**V.V. Kharitonov<sup>1</sup>, V.N. Zinkin<sup>2</sup>, S.P. Dragan<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Vzlet Branch of the Moscow Aviation Institute, Akhtubinsk, Russia

<sup>2</sup> Central Research Institute of the Air Force of the Ministry of Defense of Russia, Moscow, Russia

<sup>3</sup> Federal Medical and Biophysical Center name A.I. Burnazyan, Moscow, Russia

<sup>1</sup> haritonovvladimir@yandex.ru, <sup>2</sup> zinkin-vn@yandex.ru, <sup>3</sup> s.p.dragan@mail.ru

**Abstract.** *Background.* The aim of the work was to study the dynamics of the acoustic situation in the cockpit of a modern front-line bomber (FB), to substantiate the mechanisms of noise generation in the workplaces of flight personnel and to develop recommendations for acoustic safety. *Materials and methods.* The acoustic parameters were measured in the cockpit of a modern front-line bomber under ground conditions when preparing it for departure (engine heating, taxiing) and when performing a flight task (take-off, horizontal flight, landing). Acoustic measurements were performed using a digital noise meter SVAN-945A (class 1 spectrum analyzer). It is established that in the cockpit of the aircraft, noise is formed, which is broadband, intense, with a maximum spectrum in the high-frequency region and the presence of intense broadband infrasound in the spectrum. Depending on the measurement stage, the equivalent cabin noise level ranged from 82 to 106 dBA, and the equivalent total infrasound sound pressure level ranged from 90 to 107 dB Lin. The maximum values of these parameters were reached when the aircraft took off. *Results and conclusions.* The mechanisms of noise formation in the crew cabin are considered. The main source of it is the power plant. An assessment of the working conditions of pilots by noise (harmful class 3.2) and by infrasound (acceptable class 2). The protective helmet used by pilots, including as a means of individual protection against noise, provides effective protection of the hearing organ from noise generated in the cockpit at almost all stages, and creates comfortable conditions for speech communication. The results of monitoring the acoustic environment at the workplace of the aircraft and the mechanisms of noise formation should be taken into account when justifying the requirements for new aircraft models. Improving working conditions is one of the ways to reduce the risk of developing noise pathology, to preserve the working capacity and professional longevity of flight personnel.

**Keywords:** noise, sources, flight crew, crew cabin, noise generation mechanisms, protective helmet, acoustic safety

**For citation:** Kharitonov V.V., Zinkin V.N., Dragan S.P. Dynamics of the acoustic environment in the cockpit of the aircraft. *Izmereniya. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurements. Monitoring. Management. Control.* 2021; 2:20–29. (In Russ.). doi:10.21685/2307-5538-2021-2-3

### *Актуальность*

Авиационный шум (АШ) является одним из ведущих вредных факторов летного состава (ЛС). Вредные и опасные условия труда авиационных специалистов (АС) создают высокие риски развития профессиональных и производственно обусловленных заболеваний, а также повышенного уровня общей заболеваемости и хронических болезней. АШ оказывает негативное влияние на психику человека и приводит к снижению операторских качеств АС, профессиональной работоспособности и надежности деятельности, уровня удовлетворенности трудом и мотивации [1–4].

*Авиационный шум* – это собирательное понятие, так как он формируется за счет одновременной работы нескольких разнородных шумообразующих механизмов (основные и вспомогательные силовые установки, аэродромная техника). По своему характеру и воздействию АШ – это высокоинтенсивный широкополосный шум, в спектре которого преобладают высокие частоты, с наличием высокоинтенсивной инфразвуковой составляющей, многочасовой, непостоянной, так как шумовое воздействие носит циклический характер в течение летной смены, т.е. периоды активной нагрузки чередуются с паузами от нескольких десятков минут до нескольких часов. Особенности АШ обуславливают ряд проблем, которые необходимо учитывать при планировании развития авиационной техники, мест дислокации авиационных объектов, организации рабочих мест и авиационной безопасности [5].

Основными источниками шума при эксплуатации воздушных судов (ВС) государственной авиации являются силовые установки, планер и средства наземного обеспечения полетов. АШ достигает максимальных значений при взлете. При заходе на посадку шум реактивной струи не является доминирующим источником шума, так как двигатели работают на малом газу, и здесь возникает проблема шума, образующегося при обтекании выпущенного шасси и отклонения элементов механизации крыла. Неблагоприятная акустическая обстановка создается при работе основных и дополнительных силовых установок при подготовке ВС к полету. Механизмы образования шума с учетом многообразия источников требуют тщательного изучения, так как это является важной задачей для снижения шума в источнике или на пути его распространения и неблагоприятных последствий шума на человека и окружающую среду [6, 7].

Нарушение работоспособности в условиях действия АШ является фактором риска, негативно влияющим на профессиональную надежность АС. В связи с этим борьба с шумом требует мониторинга акустической обстановки на рабочих местах АС и проведения профилактических мероприятий для обеспечения безопасности полетов [8, 9].

Цель работы: изучить динамику акустической обстановки в кабине летчиков современного фронтального бомбардировщика (ФБ), обосновать механизмы образования шума на рабочих местах летного состава и дать рекомендации по акустической безопасности.

### *Материалы и методы исследования*

Работа была выполнена с привлечением современного ФБ, широко используемого в настоящее время в Военно-воздушных силах. Акустические измерения проводились в несколько этапов. На первом этапе проведены акустические измерения в наземных условиях в кабине ВС (при прогреве двигателей на малом газу и при рулении) и снаружи около ВС на рабочем месте авиационного техника. На втором этапе измерения выполнялись последовательно при взлете и наборе высоты, горизонтальном полете, заходе на посадку ВС.

Запись начинали с момента запуска двигателя и заканчивали после остановки двигателя ВС. Измерительная аппаратура находилась внутри кабины ВС. Шумомер помещали в нагрудный карман куртки ЛС перед посадкой в кабину ВС.

Измерение акустических параметров проводили с помощью цифрового шумомера SVAN-945A (анализатор спектра 1 класса). Прибор предназначен для акустических измерений, мониторинга шума окружающей среды и оценивания уровней шума на рабочих местах в соответствии с ГОСТ 12.1.050–86 и ГОСТ 22283–88. При обработке результатов в качестве нормативных документов, регламентирующих уровни акустической нагрузки на рабочих местах, использовали:

- 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»;
- санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.583–96 «Инфразвук на рабочих местах, в жилых и общественных помещениях и на территории жилой застройки»;
- санитарно-эпидемиологические правила и нормы СанПиН 2.2.4.3359-16;
- общие тактико-технические требования (ОТТ ВВС-2015).

Для оценки звука использовали следующие параметры: максимальный уровень звука ( $L_A$ , дБА), эквивалентный уровень звука ( $L_{экр}$ , дБА), уровень звукового давления (УЗД) в октавных полосах со среднегеометрической частотой 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 40000, 8000 Гц.

Оценку инфразвука (ИЗ) проводили по таким параметрам, как: эквивалентный общий уровень звукового давления ( $L_{общ.УЗД}$ , дБ), максимальный общий УЗД ( $L_A$ , дБ Лин) и УЗД (дБ) в октавных полосах со среднегеометрической частотой 2, 4, 8, 16 Гц.

Для определения характера акустического спектра использовали спектральный анализ и специализированные компьютерные программы.

Субъективную оценку акустической обстановки в кабине ФБ проводили с помощью анкетирования ЛС.

### *Результаты акустических измерений в кабине экипажа ФБ и их обсуждение*

В табл. 1 представлены результаты акустических измерений в диапазоне ИЗ (эквивалентный общий УЗД и максимальный общий УЗД) и в звуковом диапазоне (эквивалентный и максимальный уровень звука) в кабине ФБ на различных этапах выполнения полетного задания.

Таблица 1

Динамика параметров шума в кабине ФБ на разных этапах выполнения полетного задания

Режим полета	Инфразвуковой диапазон		Звуковой диапазон	
	$L_{общ.УЗД}$ , дБ Лин	$L_A$ , дБ Лин	$L_{экр}$ , дБА	$L_A$ , дБА
Прогрев двигателя	90	107	82	85
Руление	92	101	90	95
Взлет	107	113	106	113
Полет на высоте	101	111	100	111
Весь полет	100	113	99	113

Из табл. 1 следует, что общий УЗД колебался от 90 до 107 дБ Лин, достигая максимальных значений при взлете ВС. Максимальный уровень УЗД находился в диапазоне 101–113 дБ Лин, и он был наибольшим при взлете ВС. Эквивалентный уровень звука колебался от 82 до 106 дБА, достигая максимума при взлете. Максимальный уровень звука находился в диапазоне 85–113 дБА, и он был наибольшим при взлете ВС.

В кабине ВС акустические параметры достигают максимальных значений (113 дБА) при взлете ВС, что обусловлено работой двигателей, соответствующей максимально допустимому числу оборотов и наибольшей тяге двигателя. Взлетному режиму соответствует взлетная мощность, которая составляет практически 100 % номинальной мощности двигателя. Поскольку режим является напряженным, то время работы на нем ограничивается несколькими минутами. В этот период величина акустических параметров существенно превышает предельно допустимый уровень (ПДУ) приблизительно на 21 дБА. В процессе выполнения горизонтального полета на заданной высоте двигатели работают в режиме номинал (75–80 % максимума оборотов), что ведет к снижению шума в кабине ВС (до 100 дБА) и ИЗ (101 дБ Лин). Эти параметры превалируют в интегральной структуре шума и ИЗ (графа «весь полет» табл. 1), так как от общего времени выполнения полетного задания на горизонтальный полет приходится до 90 % общего времени. На этапе «руления после посадки» акустические параметры еще больше снижаются из-за перехода работы двигателя на режим малый газ (ниже 65 % максимума оборотов).

Таким образом, режим работы авиационных двигателей на всех этапах полета определяет уровень шума в кабине ВС. Поэтому силовую установку ВС надо рассматривать в качестве основного источника шума на рабочем месте ЛС.

На основании профессиональной циклограммы установлено, что в кабине ВС в течение всего полета эквивалентный уровень шума соответствует 99 дБА, что превышает на 12 дБА ПДУ (85 дБА), установленным ОТТ ВВС. Условия труда при таком превышении шума соответствуют вредному классу труда 3.2. В области ИЗ эквивалентный общий УЗД не превышал ПДУ (110 дБ Лин в соответствии СанПиН 2.2.4.3359–16 для транспортных средств). Поэтому условия труда по ИЗ соответствуют допустимому классу 2. Максимальный текущий общий уровень инфразвука был максимальным при взлете ВС и не превышал ПДУ (120 дБ). Максимальные уровни звука незначительно превышали ПДУ (110 дБА) при взлете (на 2 дБА) и в течение всего полета (на 1 дБА).

Из этого следует, что летные экипажи фронтовых бомбардировщиков осуществляют профессиональную деятельность во вредных шумовых условиях, т.е. подвергаются некомпенсированной акустической нагрузке, а это создает риски развития шумовой патологии, в первую очередь нейросенсорной тугоухости (НСТ) [10–12].

В табл. 2 представлены УЗД в октавных полосах звукового диапазона в кабине ФБ во время выполнения полетного задания.

Таблица 2

Результаты измерения шума в звуковом диапазоне в кабине ФБ  
во время выполнения полетного задания

Место измерения	Уровни звукового давления (дБ) в октавных полосах со среднегеометрической частотой (Гц)								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Во время полета	80	86	90	<b>90</b>	<b>91</b>	<b>94</b>	<b>92</b>	<b>91</b>	<b>89</b>
Около ВС на стоянке	99	<b>102</b>	<b>103</b>	<b>105</b>	<b>107</b>	<b>107</b>	<b>108</b>	<b>113</b>	<b>116</b>
ПДУ	110	99	92	86	83	80	78	76	74

Примечания:

1. Жирным курсивом выделены величины, превышающие ПДУ.
2. ПДУ для ВС при 4–8-часовой продолжительности полета согласно ОТТ ВВС-2015.

Из табл. 2 следует, что во время полета в кабине ВС УЗД во всех октавах звукового диапазона не превышал 100 дБ и колебался от 80 до 94 дБ. В октавных полосах от 250 до 8000 Гц его величина выше ПДУ от 4 до 15 дБ. Максимум энергетического спектра соответствует 1000–2000 Гц (УЗД 92–94 дБ). Следовательно, в кабине ВС шум представлен во всех октавах, что позволяет его классифицировать как широкополосный. Шум интенсивный, так как не пре-

вышает УЗД 100 дБ. Шум высокочастотный ибо максимум спектра приходится на область от 1 кГц и выше. Широкополосный, интенсивный шум с максимумом спектра в высокочастотной области по своей природе имеет сходство с воздушным реактивным шумом, который образуется при работе силовой установки ВС. Для подтверждения в табл. 2 представлены результаты измерения шума около ВС на стоянке при работающих двигателях. УЗД в этом случае существенно превышают УЗД в кабине на 11–27 дБ, достигая максимального ослабления в области 4–8 кГц. Надо учитывать, что шум в наземных условиях поступает в кабину двумя путями: как структурный шум, распространяясь по конструкции фюзеляжа, и за счет образования внешнего шума вокруг планера за счет работы силовой установки. При полете последний путь значения практически не имеет, так как вокруг планера образуются вихревые воздушные потоки, которые образуют аэродинамический шум. Для него характерен низкочастотный спектр.

В табл. 3 представлены результаты измерения в области ИЗ на рабочих местах ЛС во время выполнения полетного задания ФБ.

Таблица 3

Результаты измерения ИЗ в кабине экипажа ФБ во время полета

Место измерения	Уровни звукового давления (дБ) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами (Гц)			
	2	4	8	16
Во время полета	58	75	79	80
Около ВС на стоянке	94	94	<b>95</b>	<b>96</b>
ПДУ	110	105	100	95

П р и м е ч а н и я:

1. Жирным курсивом выделены величины, превышающие ПДУ.
2. ПДУ для ВС при 4–8-часовой продолжительности полета согласно ОТТ ВВС-2015.

Из табл. 3 следует, что во время полета в кабине ВС УЗД во всех октавных полосах ИЗ колеблется от 58 до 80 дБ, что существенно ниже ПДУ. Максимум энергетического спектра соответствует 8–16 Гц (УЗД 79–80 дБ). Следовательно, в кабине ВС ИЗ представлен во всех октавах, что позволяет его классифицировать как широкополосный. В табл. 3 представлены результаты измерения ИЗ около ВС на стоянке при работающих двигателях. УЗД в этом случае существенно превышают УЗД в кабине на 16–36 дБ, достигая максимального ослабления в области 2 Гц. Из полученных данных следует, что кабина ВС хорошо защищена от внешнего ИЗ. Этому способствует ряд конструктивных особенностей кабины ВС (герметичность, бронезащита кабины, большая масса капсулы кабины, цилиндрическая форма, высокая звукоотражающая способность металлического корпуса). Перечисленные факторы соответствуют основным требованиям для обеспечения эффективной звукоизоляции, особенно в области ИЗ.

Согласно требованиям руководящих документов персонал при работе в условиях шума, превышающих ПДУ, должен использовать средства защиты. В настоящее время ЛС во время полетов использует защитный шлем (ЗШ), одна из функций которого является защита органа слуха от шума. В табл. 4 представлены сведения об эффективности ЗШ и проведено сравнение ее с величиной превышения шума в кабине ФБ.

Таблица 4

Оценка эффективности ЗШ с величиной превышения ПДУ шума, образующегося в кабине ФБ при полете

Наименование	Уровни звукового давления (дБ) в октавных полосах со среднегеометрической частотой (Гц)								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Разница между УЗД в кабине ВС и ПДУ ( $\Delta$ )*	–	–	2	4	8	14	14	15	15
Акустическая эффективность ЗШ			<b>8</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>25</b>	<b>15</b>

П р и м е ч а н и я:

1. \* –  $\Delta$  разница между УЗД снаружи ВС и ПДУ (см. табл. 2).
2. Жирным шрифтом выделены величина звукоизоляции ЗШ, равная или превышающая  $\Delta$ .

Из табл. 4 следует, что в кабине ВС УЗД шума превышают ПДУ в октавных полосах от 125 до 8000 кГц на 2–15 дБ. Величина звукоизоляции ЗШ в октавных полосах с частотой 125–8000 Гц превышает или равна разнице между УЗД шума, образующегося в кабине ВС во время полета, и ПДУ. Как видно, ЗШ в полном объеме обеспечивает защиту органа слуха в диапазоне частот от 125 до 8000 Гц практически на всех этапах полета. Однако при взлете ВС уровни шума достигают максимальных значений в звуковом и инфразвуковом диапазонах, поэтому их уровни в кабине экипажа будут превышать акустическую эффективность ЗШ. Акустическая нагрузка на орган слуха в этот период резко увеличивается за счет максимального уровня звука (113 дБА) и максимального общего УЗД (113 дБ Лин), но это продолжается в течение нескольких минут.

Таким образом, наличие высокого уровня шума в кабине ВС при выполнении большей части полетного задания требует от ЛС обязательного использования ЗШ для защиты воздушного и костного путей поступления шума к органу слуха с целью профилактики развития шумовой патологии, в первую очередь нейросенсорной тугоухости (НСТ) [13, 14].

В то же время целенаправленное обследование показало, что у 74 % ЛС выявлены изменения на аудиограммах в виде повышения порогов восприятия звуков, а клинический диагноз НСТ установлен у 28 % ЛС. НСТ в структуре ЛОР-заболеваемости и дисквалификации ЛС занимает ведущее место в государственной и гражданской авиации [15]. Полученные данные свидетельствуют, что воздействие шума приводит к развитию специфической патологии слуха – профессиональной НСТ. Кроме того, наличие в спектре АШ низких частот и ИЗ (свыше 100 дБ Лин) и отсутствие средств защиты от них должны рассматриваться как фактор риска развития экстрауральной патологии у ЛС [16–18]. Следовательно, шум, которому подвергается ЛС в процессе профессиональной деятельности, создает риск для здоровья.

В табл. 5 представлены результаты субъективной оценки ЛС акустической обстановки во время выполнения полетного задания ВС. Такая оценка была проведена среди летного состава методом анкетирования. В анкетировании приняло участие 15 летчиков.

Таблица 5

Субъективная оценка ЛС акустической обстановки во время полета

Вопрос	Фронтальной бомбардировщик
Характеристика спектра шума	Высокочастотный (свист)
Оценка уровня шума	Более высокий по сравнению с другими типами ФБ
Комфортность акустической обстановки	Комфортная
Ухудшение слуха после полета	Не наблюдается
Влияет ли шум на выполнение полетного задания	Не влияет

Из табл. 5 следует, что шум, образующийся в кабине ВС во время полета, ЛС воспринимается как высокочастотный. Такая оценка совпадает с вышеприведенной спектральной характеристикой шума в кабине ВС (см. табл. 2). При наличии ЗШ шум по оценке ЛС не влиял на выполнение полетного задания и не приводил к ухудшению слуха как во время, так и после полета. Таким образом, результаты анкетирования ЛС подтверждают, что ЗШ субъективно обеспечивает защиту органу слуха от интенсивного шума в кабине ФБ.

### Заключение

Исследование динамики акустической обстановки в кабине современного ФБ показало, что на всех этапах выполнения полетного задания присутствует шум, эквивалентный уровень которого колеблется в широких пределах от 82 до 106 дБА в зависимости от этапа измерения. Диапазон изменения уровня шума достаточно широкий и по отношению к ПДУ (85 дБА в соответствии с ОТТ ВВС-2015 для ВС) он может быть ниже и выше. Однако большую часть времени полета уровень шума (99 дБА) превышает ПДУ. На основании акустических измерений и спектрального анализа шум в кабине ФБ надо классифицировать как широкополосный, интенсивный, с максимумом спектра в высокочастотной области и наличием в спектре интенсивного широкополосного ИЗ. Обращает на себя внимание, что шум, генерируемый силовой установкой ФБ, представляет собой сочетание акустических колебаний, которые перекрывают все октавы звукового и инфразвукового диапазонов.

Изучение механизмов образования шума показало, что шум внутри кабины по своей природе имеет сходство с воздушным реактивным шумом, который образуется при работе силовой установки ФБ. Основным источником его образования является структурный шум от работающей силовой установки ВС. Подтверждением этому является изменение уровня шума в кабине в зависимости от колебания мощности силовой установки (табл. 6).

Таблица 6

Корреляционная зависимость между мощностью работы силовой установки ФБ и интенсивностью акустических параметров в кабине экипажа

Параметр	Этап полетного задания			
	прогрев двигателя	руление	взлет	крейсерский полет
Мощность работы силовой установки (%)	65	80	99	90
Уровень звука в кабине ФБ (дБА)	82	90	106	100
Уровень звукового давления (дБ Лин)	90	92	107	101
Коэффициент корреляции	$r_{\text{шума}} = 0,99$ $p < 0,05$ $r_{\text{из}} = 0,945$ $p < 0,05$			

Из табл. 6 следует, что уровень шума в кабине экипажа ФБ имеет сильную прямую достоверную связь с мощностью работы силовой установки ( $r_{\text{шума}} = 0,99$   $p < 0,05$ ). Коэффициент корреляции для общего УЗД ИЗ был практически таким же ( $r_{\text{из}} = 0,945$   $p < 0,05$ ).

На это же указывает и тот факт, что кабина ФБ хорошо защищена от внешних источников шума как на земле, так и во время полета. Этому способствуют конструктивные особенности капсулы и кабины экипажа, которые соответствуют основным требованиям для достижения эффективной звукоизоляции. Однако сочетание в авиационном шуме интенсивных (свыше 90 дБ) акустических колебаний звукового и инфразвукового диапазонов создает трудности по выбору методов и способов для его эффективного снижения. Считаем, что перспективным направлением является борьба с шумом в его источнике, т.е. в самой силовой установке. Примером этому является гражданская авиация, где использование дополнительных контуров в турбореактивных двигателях способствовало снижению уровня внешнего шума.

Показано, что условия труда по шуму для ЛС соответствуют классу вредный (класс 3.2), а по ИЗ – классу допустимый (класс 2). Наличие вредных условий труда предполагает риск развития у персонала профессиональных и профессионально обусловленных заболеваний, а также увеличение общей и хронической заболеваемости. Достаточно высокая частота выявления у ЛС тугоухости является доказательством, что АШ является вредным профессиональным фактором. Поэтому для обеспечения акустической безопасности ЛС необходимо проведение профилактических мероприятий, включающих организационно-технические и лечебно-профилактические [19–21].

Ведущее место при борьбе с шумом должно отводиться обеспечению ЛС эффективными средствами индивидуальной защиты от шума. ЗШ в полном объеме обеспечивает защиту органа слуха в диапазоне частот от 125 до 8000 Гц практически на всех этапах полета. Результаты анкетирования ЛС показали, что ЗШ субъективно обеспечивает достаточную защиту органа слуха от внешнего интенсивного шума в кабине ВС.

Результаты мониторинга акустической обстановки на рабочих местах ЛС и механизмы формирования шума должны учитываться при обосновании требований к новым образцам ВС. Улучшение условий труда является одним из способов для снижения риска развития шумовой патологии, сохранения работоспособности и профессионального долголетия ЛС. Обеспечение надежности профессиональной деятельности ЛС в условиях действия вредных и опасных факторов полета, в том числе шума, является актуальной задачей, влияющей на безопасность полетов.

#### Список литературы

1. Солдатов С. К., Зинкин В. Н., Богомолов А. В. [и др.]. Фундаментальные и прикладные аспекты авиационной медицинской акустики. М. : Физматлит, 2019. 216 с.
2. Зинкин В. Н., Шешегов П. М. Современные проблемы шума в авиации // Проблемы безопасности полетов. 2014. № 5. С. 3–25.

3. 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.
4. Зинкин В. Н., Солдатов С. К., Шешегов П. М., Харитонов В. В. Шум как фактор риска снижения работоспособности и профессиональной надежности авиационных специалистов // *Проблемы безопасности полетов*. 2014. № 8. С. 3–28.
5. 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.
6. Зинкин В. Н., Солдатов С. К., Драган С. П., Пирожков М. В. Моделирование аэродинамического шума при заходе самолета на посадку // *Полет. Общероссийский научно-технический журнал*. 2013. № 11. С. 53–60.
7. Зинкин В. Н., Солдатов С. К., Богомоллов А. В., Драган С. П. Актуальные проблемы защиты населения от низкочастотного шума и инфразвука // *Технологии гражданской безопасности*. 2015. Т. 12, № 1. С. 90–96.
8. Солдатов С. К., Богомоллов А. В., Зинкин В. Н., Драган С. П. Проблемы обеспечения акустической безопасности персонала авиационной промышленности // *Безопасность труда в промышленности*. 2014. № 10. С. 58–60.
9. Зинкин В. Н., Солдатов С. К., Кукушкин Ю. А. Гигиеническая оценка условий труда работников «шумовых» профессий авиаремонтных заводов // *Медицина труда и промышленная экология*. 2008. № 4. С. 40–42.
10. Свидовый В. И., Зинкин В. Н., Ахметзянов И. М. Оценка риска производственно обусловленных и профессиональных заболеваний у авиационных специалистов // *Профилактическая и клиническая медицина*. 2008. № 1. С. 49–51.
11. Зинкин В. Н., Квасовка В. В., Солдатов С. К. Влияние высокоинтенсивного авиационного шума на заболеваемость инженерно-технического состава Военно-воздушных сил // *Военно-медицинский журнал*. 2008. Т. 329, № 2. С. 59–63.
12. Ушаков И. Б., Ромасюк С. И., Шешегов П. М. Действие авиационного шума на орган слуха специалистов инженерно-технического состава Военно-воздушных сил // *Военно-медицинский журнал*. 2006. Т. 327, № 7. С. 59–62.
13. Зинкин В. Н., Шешегов П. М., Чистов С. Д. Клинические аспекты профессиональной сенсоневральной тугоухости акустического генеза // *Вестник оториноларингологии*. 2015. Т. 80, № 6. С. 65–70.
14. Шешегов П. М., Зинкин В. Н., Дворянчиков В. В. Нейросенсорная тугоухость шумовой этиологии: диагностика, лечение и профилактика // *Вестник Российской военно-медицинской академии*. 2015. № 2. С. 60–66.
15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. 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.
19. Харитонов В. В., Зинкин В. Н., Драган С. П., Скуратовский Н. И. Механизмы формирования шума на рабочих местах авиационных специалистов воздушных судов государственной авиации // *Проблемы безопасности полетов*. 2018. № 10. С. 1–17.
20. Пенчученко В. В., Харитонов В. В., Кленков Р. Р., Мищенко А. А. Современные методы исследования акустической обстановки в кабинах воздушных судов // *Полет. Общероссийский научно-технический журнал*. 2019. № 6. С. 48–54.
21. Зинкин В. Н., Харитонов В. В., Солдатов С. К., Драган С. П. [и др.]. Комплексная характеристика условий труда летного состава маневренной авиации по акустическому фактору // *Человеческий фактор: проблемы психологии и эргономики*. 2019. № 4. С. 52–58.

### References

1. 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.)



2. Zinkin V.N., Sheshegov P.M. Modern problems of noise in aviation. *Problemy bezopasnosti poletov = Flight safety issues*. 2014;5:3–25. (In Russ.)
3. 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.
4. Zinkin V.N., Soldatov S.K., Sheshegov P.M., Kharitonov V.V. Noise as a risk factor for reducing the efficiency and professional reliability of aviation specialists. *Problemy bezopasnosti poletov = Flight safety issues*. 2014;8:3–28. (In Russ.)
5. 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 from the international participation*. Saint-Petersburg, 2017:493–521. (In Russ.)
6. Zinkin V.N., Soldatov S.K., Dragan S.P., Pirozhkov M.V. Modeling of aerodynamic noise during the approach of the aircraft to landing. *Polet. Obshcherossiyskiy nauchno-tekhnicheskii zhurnal = Flight. All-Russian Scientific and Technical Journal*. 2013;11:53–60. (In Russ.)
7. Zinkin V.N., Soldatov S.K., Bogomolov A.V., Dragan S.P. Current problems of protecting the population from low-frequency noise and infrasound. *Tekhnologii grazhdanskoy bezopasnosti = Civil security technologies*. 2015;12(1):90–96. (In Russ.)
8. 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.)
9. Zinkin V.N., Soldatov S.K., Kukushkin Yu.A. Hygienic assessment of working conditions of employees of "noise" professions of aircraft repair plants. *Medsitsina truda i promyshlennaya ekologiya = Occupational medicine and industrial ecology*. 2008;4:40–42. (In Russ.)
10. Svidovyy V.I., Zinkin V.N., Akhmetzyanov I.M. Assessment of the risk of production-related and occupational diseases in aviation specialists. *Profilakticheskaya i klinicheskaya meditsina = Preventive and clinical medicine*. 2008;1:49–51. (In Russ.)
11. Zinkin V.N., Kvasovka V.V., Soldatov S.K. The influence of high-intensity aviation noise on the morbidity of the engineering staff of the Air Force. *Voенно-meditsinskiy zhurnal = Military Medical Journal*. 2008;329(2):59–63. (In Russ.)
12. Ushakov I.B., Romasyuk S.I., Sheshegov P.M. The effect of aviation noise on the hearing organ of specialists of the engineering and technical staff of the Air Force. *Voенно-meditsinskiy zhurnal = Military Medical Journal*. 2006;327(7):59–62. (In Russ.)
13. Zinkin V.N., Sheshegov P.M., Chistov S.D. Clinical aspects of professional sensorineural hearing loss of acoustic genesis. *Vestnik otorinolaringologii = Bulletin of otorhinolaryngology*. 2015;80(6):65–70. (In Russ.)
14. Sheshegov P.M., Zinkin V.N., Dvoryanchikov V.V. Sensorineural hearing loss of noise etiology: diagnosis, treatment and prevention. *Vestnik Rossiyskoy voенно-meditsinskoy akademii = Bulletin of the Russian Military Medical Academy*. 2015;2:60–66. (In Russ.)
15. Sheshegov P.M., Zinkin V.N., Slivina L.P. Aviation noise: features of the 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.)
16. 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.)
17. Sheshegov P.M., Zinkin V.N., Kharitonov V.A. Noise and infrasound: the leading harmful factors in the workplaces of army aviation crews. *Problemy bezopasnosti poletov = Flight safety issues*. 2020;12:21–39. (In Russ.)
18. Zinkin V.N., Svidovyy V.I., Akhmetzyanov I.M. Adverse effect of low-frequency acoustic vibrations on the respiratory organs. *Profilakticheskaya i klinicheskaya meditsina = Preventive and clinical medicine*. 2011;3:280–284. (In Russ.)
19. Kharitonov V.V., Zinkin V.N., Dragan S.P., Skuratovskiy N.I. Mechanisms of noise generation at the workplaces of aviation specialists of state aviation aircraft. *Problemy bezopasnosti poletov = Flight safety issues*. 2018;10:1–17. (In Russ.)
20. Penchuchenko V.V., Kharitonov V.V., Klenkov R.R., Mishchenko A.A. Modern methods of studying the acoustic situation in the cabins of aircraft. *Polet. Obshcherossiyskiy nauchno-tekhnicheskii zhurnal = Flight. All-Russian Scientific and Technical Journal*. 2019;6:48–54. (In Russ.)
21. Zinkin V.N., Kharitonov V.V., Soldatov S.K., Dragan S.P. [et al.]. Comprehensive characteristics of the working conditions of the flight crew of maneuverable aircraft by the acoustic factor. *Chelovecheskiy faktor: problemy psikhologii i ergonomiki = The human factor: problems of psychology and ergonomics*. 2019;4:52–58. (In Russ.)

*Информация об авторах / Information about the authors***Владимир Васильевич Харитонов**

кандидат технических наук,  
доцент кафедры испытания 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 sub-department  
of aircraft testing,  
Vzlet Branch of the Moscow Aviation Institute  
of the State Technical University  
(5 Dobrolyubova street, Akhtubinsk,  
Astrakhan region, Russia)

**Валерий Николаевич Зинкин**

доктор медицинских наук, профессор,  
старший научный сотрудник  
научно-исследовательской лаборатории,  
Центральный научно-исследовательский институт  
Военно-воздушных сил Минобороны России  
(Россия, Московская область, г. Щелково)  
E-mail: zinkin-vn@yandex.ru

**Valery N. Zinkin**

Doctor of medical sciences, professor,  
senior researcher at the research laboratory,  
Central Research Institute of the Air Force  
of the Russia Ministry of Defense  
(Shchelkovo, Moscow region, Russia)

**Сергей Павлович Драган**

доктор технических наук, доцент,  
заведующий лабораторией,  
Федеральный медицинский биофизический  
центр имени А. И. Бурназяна  
(Россия, г. Москва, ул. Маршала Новикова, 23)  
E-mail: s.p.dragan@mail.ru

**Sergey P. Dragan**

Doctor of technical sciences, associate professor,  
head of the laboratory,  
Federal Medical Biophysical Center  
name A. I. Burnazyan  
(23, Marshal Novikov street, Moscow, Russia)

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

**Поступила в редакцию/Received 29.03.2021**

**Поступила после рецензирования/Revised 05.04.2021**

**Принята к публикации/Accepted 15.04.2021**