

С.К. Солдатов, Н.И. Скуратовский

(4-й Центральный научно-исследовательский институт Минобороны России;
e-mail: gniiivm-s@yandex.ru)

ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭВОЛЮЦИИ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ОТ АВИАЦИОННОГО ШУМА

Представлены результаты анализа инженерно-технических аспектов эволюции средств защиты от авиационного шума: дана характеристика современных подходов к конструкции противошумов и шумозащитных сооружений, обсуждаются вопросы перспективных направлений исследований в области шумозащиты.

Ключевые слова: авиационный шум, шумозащита, охрана труда авиационных специалистов, безопасность жизнедеятельности.

S.K. Soldatov, N.I. Skuratovskiy

ENGINEERING AND TECHNICAL ASPECTS OF THE EVOLUTION OF MEANS OF PROTECTION FROM AIRCRAFT NOISE

The results of the analysis of the engineering and technical aspects of the evolution of the protection from aircraft noise: the characteristic of modern approaches to the design of insert hearing protector and anti-noise facilities, discusses the future-oriented fields of research in the field of noise protection.

Key words: aircraft noise, noise protection, labor protection of aviation specialists, life safety.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 6 октября 2013 г.

Развитие авиационной техники сопровождается непрерывным увеличением мощностей авиационных двигателей, что приводит к возрастанию интенсивности и времени экспозиции шума, уровень которого существенно превышает предельно допустимые значения [1-3]. Поскольку организм человека практически не способен полностью адаптироваться к действию шума, то можно утверждать, что вследствие некомпенсированного воздействия авиационного шума человек постоянно находится в состоянии повышенного нервного и физического напряжения, что обуславливает реальную угрозу здоровью обслуживающего персонала, прежде всего, **инженерно-технического состава (ИТС)** и населения территорий, прилегающих к аэродромам [4-5].

Многолетние наблюдения за состоянием здоровья ИТС, обслуживающего современные летательные аппараты, показали, что у них высок риск развития нейросенсорной тугоухости и шумовой профессионально обусловленной патологии [2, 4].

Проблема усугубляется отсутствием на снабжении в государственной авиации табельных **средств индивидуальной (СИЗ) и коллективной (СКЗ) защиты** от механоакустического фактора. Имеющиеся на аэродромах домики (вагончики, укрытия), предназначенные для пребывания ИТС в период лётных смен, как правило, неэффективны с точки зрения шумозащиты, не обеспечивают должных условий жизнедеятельности личного состава [2, 6, 7].

Способы защиты от авиационного шума

Борьба с шумом в авиации ведется давно, а наиболее эффективные способы снижения его интенсивности связаны, как правило, с уменьшением тяги двигателей и с увеличением массы летательного аппарата, что ухудшает их тактико-технические характеристики. Тем не менее, последние достижения в авиационной акустике, материаловедении позволяют предложить инновационные решения по оптимизации акустической обстановки на аэродроме и на прилегающих к нему территориях с целью уменьшения негативного воздействия шума на здоровье ИТС и населения.

Снижение интенсивности авиационного шума осуществляется по следующим направлениям [2]:

- уменьшение параметров шумового фактора в источнике образования технологическими, конструктивными и эксплуатационными способами;
- снижение интенсивности шумов по пути их распространения средствами звукоизоляции или звукопоглощения;
- уменьшение вредного воздействия механоакустического фактора на организм за счёт использования СИЗ и СКЗ персонала (или изменения его режима труда), а также комплекса медико-организационных мер.

Анализ способов снижения интенсивности авиационного шума в источниках его образования

Наиболее мощным источником шума самолетов является *газотурбинный двигатель (ГТД)*, а основными источниками шума современных ГТД являются; вентилятор, компрессор, камера сгорания, турбина и реактивная струя. Каждый источник шума характеризуется частотным составом различных уровней звукового давления (спектром) и направленностью излучения [2, 4]. На аэродроме к шумам взлета и посадки, перемещения по рулежным полосам присоединяются интенсивные шумы при подготовке летательных аппаратов к вылету, а также шумы, возникающие на специальных площадках при испытаниях двигателей. Уменьшение интенсивности авиационного шума в источниках его образования технологическими и конструктивными мерами является наиболее эффективным способом борьбы с авиационными шумами.

К основным мерам, позволяющим создавать малозумные узлы, механизмы и агрегаты, следует отнести изыскание оптимальных конструктивных форм деталей и компоновочной схемы летательного аппарата для их безударного взаимодействия или плавного обтекания газовоздушными потоками.

Снижение уровня шума ГТД обеспечивают оптимальным подбором закрутки лопаток, их количества и расстояния между ними. Снизить турбулентность, направление и, соответственно, шум струи ГТД позволяют шевроны волнообразной формы, устанавливаемые на срезе сопла ГТД, а также скошенные воздухозаборники.

Самостоятельная область авиационной акустики связана со **звукопоглощающими конструкциями (ЗПК)**. Наиболее перспективным является создание многослойных ЗПК, ячейки которых заполнены мелкопористым материалом, а также адаптивных ЗПК, изменяющих свои свойства (пористость и плотность) в зависимости от параметров звукового поля [2]. Отличительная черта этих материалов – высокая звукопоглощающая способность в очень широком частотном диапазоне.

Необходимость снижения эксплуатационных расходов и экологических рисков привели к формированию новых технологических решений, заключающихся во внедрении в конструкцию летательных аппаратов, вместо вспомогательной силовой установки (один из наиболее интенсивных источников авиационного шума), топливных химических элементов. Существенно снизить шумность летательных аппаратов позволяет также использование углепластика и других композитных материалов в конструкциях крыла и фюзеляжа.

Анализ состояния и перспектив снижения уровня авиационного шума с применением звукоизолирующих устройств и звукопоглощающих конструкций

Для снижения уровня авиационного шума при его распространении в воздушной среде применяют звукоизолирующие устройства, полностью отделяющие источник шума от окружающей среды, или звукопоглощающие конструкции, снижающие интенсивность шума по пути его распространения за счёт поглощения звуковой энергии [2, 8-10]. Для звукоизоляции используются физические пространственные преграды, препятствующие распространению звука (экраны, боксы), а для звукопоглощения – покрытия, наносимые на отражающие поверхности (потолок, стены, пол) помещений для уменьшения отраженной звуковой энергии. В реальных процессах прохождения звука через преграду эти два понятия взаимосвязаны между собой.

На практике для поглощения шума наиболее широко применяются волокнисто-пористые материалы. Шумопоглощение такими материалами непосредственно связано с технологией их получения и формируемой при этом структурой (зависит от порядка следования слоев) и возрастает с увеличением толщины, плотности материалов. Для шумопоглощающего материала, состоящего из последовательности слоев капрона, вязкозного волоса, вязкозы, лавсана, восстановленной шерсти, нитрона, коэффициенты поглощения шума на частотах 250, 500, 1000 и 2000 Гц равны соответственно 0,30; 0,50; 0,65; 0,85 (при противоположном чередовании слоев эти величины на указанных выше частотах составляют 0,28; 0,39; 0,61; 0,69).

Наиболее широкое применение для снижения уровня шума в помещениях получили поверхностные структуры из шумопоглощающего материала, которые крепятся к его стенам. Для повышения шумопоглощающих характеристик такой материал устанавливают на некотором расстоянии от стенки. Эта простейшая поглощающая структура, то есть система "слой поглотителя – воздушный промежуток между поглотителем и стенкой", поглощает больше акустической энергии, чем тот же поглотитель без воздушного промежутка. Увеличение

поглощенной энергии происходит из-за увеличения скорости частиц воздуха в поглощающем слое вблизи частот поперечного резонанса воздушного промежутка. Простейшей конструкцией резонансного покрытия является классический резонатор Гельмгольца, выполненный в виде "объемов воздуха" с отверстиями в лицевых панелях.

Анализ состояния и перспектив развития средств коллективной защиты от авиационного шума

Важным направлением борьбы с шумами является применение устройств и сооружений, позволяющих снизить уровень уже имеющегося шума, с тем, чтобы на человека действовало меньшее количество звуковой энергии. Указанный способ включает применение отражателей акустической волны, применение звукопоглощающих конструкций внутри кабин и наземных средств управления, звукоизоляция служебных помещений и т.д. Весь этот комплекс мероприятий относится к коллективным средствам защиты [2, 7, 8]. Сюда же можно включить и нормирование допустимых уровней шумов. Нормированием называется обязательное ограничение продолжительности работы людей в условиях шума, превышающего допустимый уровень. Надо учитывать, что на аэродроме можно подвергаться значительному шумовому воздействию даже не находясь непосредственно вблизи источника шума, вследствие попадания в шумовую зону соседних или взлетающих самолетов. Поэтому важной мерой по снижению вредного шумового действия является рассредоточение самолетов. Личному составу следует избегать нахождения в местах повышенной шумности без особой необходимости. Даже непродолжительное пребывание в тишине после шумового воздействия обеспечивает слуховым клеткам необходимый отдых и восстановление их чувствительности. Поэтому весьма важно иметь на аэродроме служебные постройки и помещения для отдыха, снабженные хорошей звукоизоляцией [7-9]. Возможный вариант противозумного укрытия был рекомендован для строевых частей Военно-воздушных сил СССР в 80-е годы, но не нашёл реального применения.

Для борьбы с шумом могут использоваться *глушители*. Это инженерно-технические конструкции, применение которых позволяет уменьшить шум у его источника. Они представляют собой специальные сопла, снижающие интенсивность шума от выхлопной струи двигателя. Наземные глушители предназначены для снижения шума при опробовании двигателей на земле. Это, как правило, сооружения весом по 30...50 *тонн*, которые вследствие их громоздкости, не находят широкого применения в авиации. Кроме того, использование СКЗ (домиков) дает возможность создать оптимальные микроклиматические условия (по температуре, влажности, освещенности). Налицо экономическая целесообразность СКЗ с позиции "затраты-выгода".

Конструкция СКЗ дифференцируется в зависимости от характера работы авиационных специалистов, принимающих участие в обеспечении полетов. При этом предварительно разрабатывается конструкция звукопоглощающих панелей – внутренней обшивки СКЗ, то есть добиваются максимальных значений эквивалентной площади звукопоглощения.

Анализ состояния и перспектив развития средств индивидуальной защиты от авиационного шума

Средства индивидуальной защиты от шума – противошумы – используются главным образом в тех случаях, когда технические средства борьбы с шумом не обеспечивают снижения его до безопасных уровней. К СИЗ от шума относятся "внутренние" противошумные вкладыши (беруши, тампоны, втулки, и пр.), наушники и противошумные шлемы.

К настоящему времени разработано значительное количество модификаций СИЗ, отличающихся как внешним видом и качеством изготовления, так и эффективностью. Заглушающая способность СИЗ различных производителей неодинакова, разброс величин шумопоглощения составляет [7-9]:

- в области низких частот (63...250 Гц) – 2...27 дБ для наушников и 1...22 дБ для шлемов;

- в области средних частот (500...1000 Гц) – 4...36 дБ для наушников и 14...39 дБ для шлемов;

- в области высоких частот (свыше 1000 Гц) – 23...42 дБ для наушников и 22...56 дБ для шлемов.

Установлено, что величина шумоглушения *чашками наушников* на *низких частотах* наиболее существенно зависит от характеристик уплотняющего слоя (амбишюров), на *средних частотах* – от характеристик наполнителя и особенностей и конструкции корпуса чашки, а на *высоких частотах* – от характеристик материала, из которого изготовлен корпус чашек наушников [9]. В соответствии с этим проводятся работы по совершенствованию образцов СИЗ.

В перечне СИЗ по ГОСТ 12.4.011-89 "Система стандартов безопасности труда. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация" предусмотрено такое средство защиты органа слуха, как *шумозащитный шлем*. Однако требований к подобным СИЗ в системе стандартов безопасности труда не предъявляется, и в сети Интернет какая-либо информация о подобных изделиях скупая и разрозненная. Сколько-нибудь широкого применения на практике шумозащитные шлемы не нашли [2].

В зарубежных источниках рекомендуется, при необходимости, использовать в качестве шумозащитных авиационные (например, вертолетные) защитные шлемы. Очевидно, что шумопоглощение таких шлемов достигается в основном за счет их значительной конструктивной массы, а также вследствие наличия в конструкции внутреннего шумозащитного пакета.

На практике, как правило, отмечается совместное действие на ИТС авиационного шума в комбинации с другими неблагоприятными факторами условий профессиональной деятельности. Поэтому представляют интерес разработки по созданию средств *комбинированной защиты* ИТС. В частности, в комплект СИЗ от шума (шлем) необходимо включить очки для защиты глаз от избыточной инсоляции, пыли и металлической окалины (такая проблема, в частности, остро обозначилась при медицинском обеспечении полетов с авианесущего ракетного крейсера "Адмирал Кузнецов").

Анализ состояния и перспектив развития средств защиты от воздушной акустической вибрации

Известно, что внутренние органы человека обладают собственными частотами колебаний, находящимися в диапазоне от 2 до 80 Гц [4]. При совпадении частоты шума и частоты колебаний внутренних органов возникают резонансные явления, обуславливающие возникновение болевых ощущений. Поэтому для защиты от воздействия шумов с высокими (более 125 дБ) **уровнями звукового давления (УЗД)** применяют шлемы и противошумные костюмы, закрывающие голову и тело человека.

В состав комплекта шумозащитного снаряжения входят шумозащитный шлем, противовибрационный шумозащитный пояс (жилет, комбинезон), который должен обеспечивать снижение общего уровня шума в пододежном пространстве в области груди и живота на 5...25 дБ (при частоте шумовых колебаний 125...8000 Гц).

Обеспечение защитных, эксплуатационных и гигиенических требований, предъявляемых к противошумным образцам СИЗ, возможно только при использовании специальных материалов, обеспечивающих поглощение энергии воздействующего шума. Ткани и материалы со сложным химическим составом волокон, специальными пропитками обладают значительно лучшими шумозащитными свойствами. Добавочная обработка материала клеевыми прокладочными материалами с полиамидным точечным покрытием или с полимерными клеями, нанесенными тонким слоем на изнаночную сторону основной ткани, позволяет создать между слоями ткани дополнительное пространство и увеличить количество граничащих сред.

Анализ состояния и перспектив развития средств активной защиты от авиационного шума

Все описанные выше средства и методы шумозащиты относятся к пассивным, обеспечивающим поглощение акустической энергии. Однако в ряде публикаций приводятся результаты эффективного использования активных средств защиты от шума, принцип действия которых основан на генерировании инвертированного (имеющего противоположные фазы) шумового сигнала, который, складываясь с исходным шумовым сигналом по принципу интерференции, обеспечивает снижение акустической энергии [8-9].

Не исключается возможность применения методов активного шумоподавления в существующих средствах пассивной индивидуальной шумозащиты (авиационных гарнитурах, защитных шлемах, оголовьях и шумозащитных шлемах) для повышения эффективности защиты органа слуха в области низких частот и улучшения эргономических характеристик.

Наибольший интерес СИЗ, использующие методы активного шумоподавления, вызывают у военных, охотников и стрелков. Считается, что шумозащитные наушники с активным шумоподавлением позволяют обеспечить на низких частотах дополнительную эффективность подавления широкополосного шума не менее, чем на 10 дБ и тонального шума не менее, чем на 20 дБ, что весьма существенно для низкочастотного диапазона.

Существует несколько типов устройства активного шумоподавления: одни системы обеспечивают шумоподавление только при превышении порогового значения уровня звука, другие "вырезают" из спектра шума определенные частоты, третьи "нивелируют", сглаживают пиковые значения шумов, усредняя звуки к некому индивидуально комфортному уровню.

Современные "интеллектуальные" активные шумозащитные наушники появились относительно недавно, они позволяют не только защитить органы слуха от оглушающего эффекта, но и с помощью инновационных систем в реальном времени, без запаздывания, плавно уменьшают УЗД на оглушающих частотах до безопасного уровня. Кроме того, современные образцы наушников с активным шумоподавлением, используя стереофонический усилитель слабых шумов, позволяют обеспечить различимость даже самых слабых и отдаленных звуков, сохраняя возможность определения направления на источник звука.

Следует отметить, что усиление слабых звуков имеет и негативные последствия. Поскольку система активного шумоподавления не распознает "полезность" звука, то и усиливает все тихие звуки в заданном (речевом) частотном диапазоне. При этом пользователь будет постоянно слышать шорохи одежды, звуки шагов и другие внешние звуки, обычно практически неслышимые. Микрофоны, встроенные в чашки наушника с активным шумоподавлением, не защищены от ветра, поэтому передаваемый при этом фоновый шум может вызывать серьезное раздражение, особенно при продолжительной работе в таких условиях. В условиях аэродромных шумов будут усиливаться и хорошо слышны звуки специальной аэродромной техники и авиационных двигателей, работающих даже на значительном удалении. Если при этом снизить громкость воспроизводимого сигнала, то, соответственно, снизится громкость и воспроизводимых "полезных" звуков.

Проведенный анализ показал, что особых преимуществ от использования наушников с активным шумоподавлением в области частот 125...8000 Гц нет. Лимитирующим фактором является высокая стоимость наушников с активным шумоподавлением, в разы превосходящая стоимость пассивных наушников, и необходимость обеспечения таких наушников источником питания (батареей).

Для целей коллективной шумозащиты традиционно применяемые для шумогашения и снижения вибраций пассивные средства – покрытия, перегородки, пассивные резонаторы – на низких частотах недостаточно эффективны или требуют очень больших массогабаритов и затрат. В этих условиях не существует альтернативы применению новых инновационных технологий – методов и средств активного гашения, основанных на использовании деструктивной интерференции и активных резонаторов.

Перспективные направления совершенствования средств защиты от авиационного шума

Обобщая имеющийся опыт, следует подчеркнуть, что наибольшего эффекта защиты ИТС от интенсивных авиационных шумов можно достичь лишь при комплексном использовании инженерных (коллективных) и индивидуальных шумозащитных средств. Применение шумозащитных сооружений со средствами индивидуальной защиты обеспечивает комфортную акустическую обстановку в период проведения полетов и позволяет варьировать суммарным временем работы ИТС.

Исходя из вышеизложенного, перспективными являются следующие направления в области шумозащиты в авиации:

1. Разработка и внедрение в практику универсального шумозащитного изделия с использованием эффективных шумопоглощающих материалов и инновационных технологий, быстро адаптируемого под различные цели и задачи с учетом особенностей акустической обстановки и (или) изменяющего свои свойства в зависимости от параметров акустической обстановки на рабочих местах специалистов.

2. Обоснование и внедрение в перспективные СИЗ беспроводных малогабаритных интеркомом (переговорных устройств), вмонтированных в наушники (шлем) для осуществления качественной коммуникации между обслуживающим персоналом и экипажами летательных аппаратов.

3. Применение эффективных средств активного гашения звука в имеющихся пассивных СИЗ и СКЗ с целью повышения эффективности защиты в области низких частот.

4. Улучшение эргономических характеристик авиационных гарнитур, шлемофонов, наушников.

5. Разработка эффективных эргономически оптимизированных модульных средств коллективной защиты от авиационного шума, дифференцированных исходя из специфики задач, решаемых ИТС при обслуживании летательных аппаратов различных типов.

Работа поддержана РФФИ, грант 14-08-00027

Литература

1. **Авиационный** шум как фактор эколого-социального неблагополучия / Зинкин В.Н. и др. // Проблемы безопасности полетов. 2010. № 10. С. 3-13.
2. **Человек** и авиационный шум / Солдатов С.К., Зинкин В.Н., Богомолов А.В., Кукушкин Ю.А. М.: Новые технологии, 2012. 24 с. (Приложение к журналу "Безопасность жизнедеятельности", № 9, 2012).
3. **Методическое** обеспечение и результаты исследования акустической обстановки на рабочих местах специалистов, подвергающихся воздействию авиационного шума / Щербатов С.А. и др. // Биомедицинская радиоэлектроника. 2007. № 12. С. 21-27.
4. **Авиационный** шум: специфические особенности биологического действия и защиты / Зинкин В.Н., Богомолов А.В., Ахметзянов И.М., Шешегов П.М. // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2012. Т. 46, № 2. С. 9-16.
5. **Анализ** рисков здоровью, обусловленных сочетанным действием шума и инфразвука / Зинкин В.Н., Богомолов А.В., Драган С.П., Ахметзянов И.М. // Проблемы анализа риска. 2011. Т. 8. № 4. С.82-92.
6. **Методика** оценивания умственной работоспособности и надежности профессиональной деятельности специалистов, подвергающихся воздействию авиационного шума / Кирий С.В. и др. // Биомедицинская радиоэлектроника. 2008. № 1-2. С. 50-56.
7. **Исследование** эффективности средств индивидуальной и коллективной защиты от шума на основе оценки потенциальной ненадежности профессиональной деятельности авиационных специалистов / Зинкин В.Н. и др. // Безопасность жизнедеятельности. 2010. № 11. С. 2-6.
8. **Акустическая** эффективность средств защиты от шума / Драган С.П., Зинкин В.Н., Богомолов А.В., Солдатов С.К., Дроздов С.В. // Медицинская техника. 2013. № 3. С. 34-36.
9. **Акустическая** эффективность средств индивидуальной защиты от низкочастотного шума и инфразвука / Зинкин В.Н., Богомолов А.В., Россельс А.В., Еремин Г.И. // Безопасность в техносфере. 2013. № 1. С. 64-69.
10. **Харитонов В.В.** Об эргономической экспертизе виброзащитного комплекта для инженерно-технического состава Военно-воздушных сил / Харитонов В.В., Радченко С.Н., Шишов А.А. // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. Вып. 2 (48). 01.04.2013. 7 с. <http://ipb.mos.ru/ttb>.