

# Облик информационно-измерительной системы квалиметрии средств коллективной защиты от авиационного шума

С. П. Драган<sup>1</sup>, А. В. Богомолов<sup>2</sup>, С. В. Дроздов<sup>3</sup>  
Государственный научный центр РФ – Федеральный  
медицинский биофизический центр им. А.И.Бурназяна  
ФМБА России

<sup>1</sup>s.p.dragan@rambler.ru, <sup>2</sup>a.v.bogomolov@gmail.com,  
<sup>3</sup>drozdovsv87@gmail.com

В. В. Харитонов

Филиал «Взлёт» Московского авиационного  
института (национального исследовательского  
университета)

haritonovvladimir@yandex.ru

**Аннотация.** Исходя из потребностей практики обеспечения акустической безопасности профессиональной деятельности инженерно-технического состава авиации, специфических особенностей авиационного шума, опыта разработки и эксплуатации средств коллективной защиты от авиационного шума разработан облик информационно-измерительной системы квалиметрии средств коллективной защиты от авиационного шума.

**Ключевые слова:** коллективная защита от шума; информационно-измерительная система; квалиметрия противошумов; авиационный шум

## I. ВВЕДЕНИЕ

Наличие высокоинтенсивных шумов при предполетной подготовке и при полетах современных воздушных судов с уровнем звукового давления (УЗД) 130 дБ и выше ставит комплексную задачу защиты инженерно-технического состава (ИТС) авиации от шума. Помимо индивидуальных средств существуют методы коллективной шумозащиты ИТС: стартовые домики, которые используются как место отдыха, экранирующие конструкции, глушители, всевозможные приаэродромные помещения (то есть весь спектр сооружений) [1-3].

В инфразвуковом диапазоне частот коэффициенты звукоизоляции средств коллективной защиты (СКЗ) не превышают 10 дБ. На средних частотах коэффициенты повышаются до 20 дБ, и только на частотах от 1 кГц и выше звукоизоляция достигает 30 дБ [4]. В условиях, когда уровни звукового давления падающей волны существенно превышают 110 дБ звукоизоляционных свойств СКЗ недостаточно для обеспечения безопасных условий труда. То есть необходимо повышать звукоизолирующие свойства средств коллективной защиты [5, 6].

В инфразвуковом диапазоне звукоизоляция СКЗ на резонансных частотах стремится к нулю, а коэффициенты звукоизоляции, в зависимости от места расположения микрофона (у стен или в центре помещения) испытывают существенный разброс. Поэтому актуальным является вопрос объективной

квалиметрии звукоизоляционных свойств СКЗ в инфразвуковом диапазоне частот.

Цель работы – обоснование облика информационно-измерительной системы квалиметрии СКЗ от авиационного шума.

## II. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

На аэродроме персонал подвергается значительному шумовому воздействию, даже не находясь непосредственно вблизи источника шума, вследствие попадания в шумовую зону соседних или взлетающих самолетов. Защита ИТС от высокоинтенсивных авиационных шумов включает инженерно-организационные мероприятия, снижающие общий шум аэродрома, а также комплекс мероприятий по организации средств защиты [7, 8].

СКЗ включают комплекс мероприятий позволяющих снизить уровень уже имеющегося шума, с тем, чтобы на человека действовало меньшее количество звуковой энергии. В состав СКЗ входят:

- отражатели акустической волны на площадке для гонки двигателей;
- звукопоглощающие конструкции внутри кабин, наземных средств управления, служебных помещений и других мест размещения персонала на территории аэродрома.

К этим мероприятиям относится и нормирование допустимых уровней шумов: обязательное ограничение продолжительности работы в условиях шума, превышающего допустимый уровень.

Разнообразие применяемых методов и средств защиты ИТС от высокоинтенсивного и широкополосного авиационного шума ставит комплекс новых научных задач перед информационно-измерительными системами квалиметрии, необходимыми для оценки акустической эффективности [9, 10]. Расширение спектра авиационного шума в низкочастотную и инфразвуковую область, а также учет параметров импульсного шума требует нового решения акустических задач, не имеющих теоретического решения до настоящего времени. Так, до сих пор отсутствуют точные методы решения распространения звуковой волны на удаленные

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации по государственной поддержке ведущих научных школ Российской Федерации (НШ-122.2022.1.6)

расстояния, имеются только вероятностно-статистические подходы, применимые исключительно к конкретной местности и рельефу, где производились акустические измерения [11–13]. А эта информация необходима для расчета параметров интегрального шумового воздействия на ИТС обусловленного действием не только ближайшего, но и многочисленными ЛА расположенными на удалении (взлет, посадка, гонка двигателя и т. д.). Решение теоретической задачи по распространению звука позволит более точно оценить акустическую нагрузку, действующую на персонал и теоретически рассчитать наиболее шумные места при взлетах и посадках ЛА с учетом данных метеоусловий, включая скорость и направление ветра, температуры, давления и влажности среды.

Для СКЗ отсутствуют нормативные документы по оценке звукоизоляции, кроме того, отсутствуют теоретические методы оценки звукоизоляционных свойств помещений в диапазоне частот ниже 125 Гц [14, 15]. Наличие интерференционных явлений на инфразвуковых частотах ставит сложную задачу перед измерительным комплексом по определению УЗД в падающей волне, без этой информации невозможно корректно определить звукоизоляцию помещения. Формирующееся звуковое поле внутри помещения также является результатом интерференции. Это обусловлено резонансными явлениями, когда длина волны сопоставима с геометрическими размерами помещения. В этом случае УЗД может изменяться по длине помещения до 12 дБ, что также вызывает неопределенность при оценке коэффициента звукоизоляции сооружения. Для корректного решения данной задачи необходимо разработать научную методологию и создать средства для измерения вектора звуковой мощности во всем заданном диапазоне частот. В настоящее время выпускается акустическое измерительное оборудование зарубежных фирм, позволяющее осуществлять интенсивметрические измерения только для диапазона частот выше 100 Гц. Для низкочастотного и инфразвукового диапазонов такое оборудование отсутствует [16, 17].

Существующие СКЗ обладают минимальной защитой в области инфразвука и низких частот (до  $\approx 10$  дБ), а на некоторых частотах может вовсе отсутствовать звукоизоляция помещения. Для повышения звукоизоляционных свойств СКЗ необходимо оснащать высокоэффективными поглотителями звука, либо увеличивать толщину стен и перекрытий, что неминуемо влечет за собой существенное удорожание конструкций и отсутствие мобильности. Однако, высокоэффективных поглотителей инфразвука и низких частот, в настоящее время не существует. А это обусловлено тем фактом, что отсутствуют методы измерения коэффициентов звукопоглощения материалов и конструкций на низких частотах. Известная фирма «Брюль и Кьер» выпускает акустический интерферометр (модифицированный интерферометр труба Кундта), который позволяет определять импедансные характеристики звукопоглощающих образцов, материалов и конструкций в диапазоне частот от 50 Гц и выше. Для эффективного решения задач шумоглушения в низкочастотной и инфразвуковой области частот необходимо создать методы и средства измерения импедансных

характеристик и разработать специальные поглотители, которые необходимо использовать и в строительных конструкциях СКЗ.

Для своевременного принятия решений по защите от авиационного шума необходимо иметь объективную и исчерпывающую информацию о параметрах шумовой обстановки [18–20]. Поэтому создание эффективной системы дозиметрического контроля, т. е. мониторинга уровней шума и инфразвука является одной из существенных задач измерительных систем квалитрии.

Функциональными задачами комплекса информационно-измерительных систем квалитрии средств защиты от авиационного шума являются: 1) снижение уровня дозы шума персонала до регламентируемых пределов на основе комплекса проектных, технических и медико-санитарных мероприятий; 2) создание эффективной системы дозиметрического контроля, позволяющей оперативно регистрировать повышение уровня шумового и инфразвукового воздействия на персонал.

К техническим мероприятиям относят создание средств индивидуальной и коллективной защиты, которые позволят обеспечить снижение уровня звука до безопасных значений.

Медико-санитарные мероприятия включают защиту расстоянием и временем, а также осуществление контроля за состоянием здоровья персонала с учетом характера воздействия. Защита расстоянием – это установление санитарно-защитных зон, т. е. границ зон безопасности. Защита временем – это мероприятия по обеспечению оптимальных сочетаний режима труда-отдыха.

Комплекс информационно-измерительных систем квалитрии средств защиты от авиационного шума включает в себя информационные системы для прогнозной оценки параметров воздействующего фактора, расчетной медико-биологической оценки степени его опасности, а также для интегральной количественной характеристики отдельных и совокупных компонент средств защиты [2–4, 16, 20]. Измерительные системы содержат набор технических средств для объективной и субъективной квалитрии акустической эффективности СКЗ. Технические средства состоят из разнообразных стендов и средств измерений.

Для выявления хронического сверхнормативного авиационного шума необходимо использовать данные медицинских осмотров и заключений о состоянии здоровья персонала, работающих в разнообразных условиях акустического воздействия. Необходимо разработать методику реконструкции стажевой дозы и получить статистически достоверные зависимости «доза-эффект» для оценки риска развития профессионально обусловленных заболеваний. Ранее аналогичная зависимость построена для трех нозологических форм присущих специфическим и неспецифическим заболеваниям при шумовом воздействии, таким как сенсоневральная тугоухость, артериальная гипертензия и дисциркуляторная энцефалопатия [8, 9, 15]. В качестве независимых параметров, характеризующих вероятность заболевания, используют эквивалентную стажевую дозу акустического воздействия и персональный возраст.

Другой не менее важной задачей информационной системы квалитметрии средств защиты от авиационного шума является разработка методов определения и прогнозирования параметров акустического воздействия при испытаниях образцов вооружения и эксплуатации ЛА. Необходимо иметь четкую классификацию воздействия, определить спектральный состав, временные характеристики воздействия, исследовать и оценить изменение уровней фактора в зависимости от условий и режимов работы, изучить закономерности распространения звуковых волн в среде с учетом разных климатических условий, оценить характер и масштаб воздействия на персонал.

Кроме того, требует решения задача интегральной оценки акустической эффективности отдельных и совокупных компонент средств защиты во всем заданном диапазоне с учетом специфики авиационного шума. В настоящее время не существует методов корректного сравнения защитных свойств, вновь разрабатываемых СКЗ с существующими образцами. Поэтому необходимо разработать такой метод оценки, который бы учитывал специфические характеристики авиационных шумов во всем нормируемом диапазоне частот.

Все эти составляющие информационной системы квалитметрии необходимы для обоснованного выбора средств и методов индивидуальной и коллективной защиты, а также определения оптимальных режимов труда и других мероприятий по защите от авиационного шума.

Для реализации технических мероприятий комплекс информационно-измерительных систем квалитметрии СКЗ от авиационного шума включает измерительные системы и разнообразные стенды по квалитметрии акустической эффективности СКЗ.

В настоящее время не существует обоснованных методов по оценке звукоизоляционных свойств СКЗ в низкочастотном и инфразвуковом диапазонах. И вызвано это тем фактом, что нерешенной, в теоретическом и практическом плане, является задача по учету интерференции звукового поля, как на открытой местности, так и в различных объектах обитания. Поэтому для достоверной квалитметрии акустической эффективности или звукоизоляции СКЗ в состав комплекса информационно-измерительных систем квалитметрии средств защиты от авиационного шума необходимо включить средство для интенсивметрических акустических измерений, позволяющий определять вектор звуковой мощности с учетом прямой и отраженной волн.

Как отмечалось, существующие СКЗ обладают минимальной звукоизоляцией в низкочастотном и инфразвуковом диапазонах. Для повышения их звукоизолирующих свойств необходимо иметь средство измерения импедансных характеристик образцов материалов и элементов конструкций в этих диапазонах. Существующие методы позволяют проводить измерения только в диапазоне частот от 50 Гц и выше. Следовательно, в состав комплекса информационно-измерительных систем квалитметрии целесообразно включить стенд – акустический интерферометр для измерения импедансных характеристик (частотно

зависимых коэффициентов поглощения, отражения, активной и реактивной компонент импеданса) используемых материалов и элементов конструкций СКЗ в низкочастотном и инфразвуковом диапазонах. Наличие такого стенда позволит, используя современные технологии и научные достижения, создать материалы, обладающие высокими коэффициентами поглощения инфразвуковых частот. Экспериментальная проверка звукопоглощающих свойств материалов покрытия осуществляется путем измерения времени реверберации.

Таким образом, комплекс систем квалитметрии средств защиты от авиационного шума должен содержать информационную, измерительную и диагностическую составляющие.

Информационная составляющая включает расчетные методы, в том числе:

1. Методы оценки степени опасности при остром воздействии ударно-акустическими волнами.
2. Метод прогнозирования параметров шумового воздействия с учетом климатических условий (температура, влажность, давление, скорость и направление ветра), а также высоты источника шума.
3. Метод снижения параметров ударно-акустического воздействия.
4. Методы оценки степени опасности при хроническом сверхнормативном воздействии авиационным шумом.
5. Метод интегральной оценки акустической эффективности отдельных и совокупных компонент средств защиты во всем нормируемом диапазоне частот.
6. Метод дозиметрического контроля, позволяющий оперативно регистрировать превышение эквивалентного уровня или дозы авиационного шума воздействующей на персонал.

Измерительная составляющая для испытаний СКЗ включает набор технических средств:

1. Генераторы розового шума и тонального низкочастотного и инфразвукового внешнего сигнала.
2. Акустический интерферометр для измерения импедансных характеристик образцов материалов и элементов конструкций.
3. Система для измерений вектора звуковой мощности с учетом прямой и отраженной волн на открытой местности и в сооружении.
4. Система для измерения времени реверберации помещения.

### III. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Измерительный комплекс был использован при разработке СКЗ от авиационного шума. Двухмодульная конструкция разрабатываемого СКЗ была испытана для разных типов воздушных судов. Испытания проведены на стартовой площадке. Измеренные значения УЗД и все

контролируемые параметры не превышают предельно допустимых уровней звука и звукового давления. При взлете самолета Су-24 зарегистрированы максимальные уровни. При интервале между взлетами самолетов менее минуты (максимальное время интегрирования при взлете) в двухмодульной конструкции соблюдаются требования санитарных норм по предельно допустимым уровням звука и звукового давления.

Априорно показано и подтверждено результатами государственных испытаний, что акустическая эффективность разработанного СКЗ повысилась: на высоких частотах разница достигает 20 дБ, на средних частотах – 10 дБ, а в области низких частот и особенно инфразвука требуемая эффективность защиты не обеспечена, что требует дальнейших исследований.

#### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, разработанный облик информационно-измерительной системы квалитрии СКЗ от авиационного шума обеспечивает корректное решение комплекса задач определения соответствия СКЗ требованиям, предъявляемым к средствам защиты от авиационного шума, на всех этапах жизненного цикла СКЗ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Dragan S.P., Bogomolov A.V., Kotlyar-Shapiro A.D., Kondrat'eva E.A. A method for investigation of the acoustic reflex on the basis of impedance measurements // *Biomedical Engineering*. 2017. Vol. 51. № 1. Pp. 72-76.
- [2] Драган С.П., Дроздов С.В., Солдатов С.К., Богомолов А.В., Шишов А.А., Зинкин В.Н., Харитонов В.В. Обоснование методических подходов к определению границ санитарно-защитных зон приаэродромной территории по уровню шумового воздействия // *Авиакосмическая и экологическая медицина*. 2021. Т. 55. № 5. С. 85-93. DOI: 10.21687/0233-528X-2021-55-5-85-93
- [3] Dragan S.P., Bogomolov A.V., Kotlyar-Shapiro A.D., Kondrat'eva E.A. Experimental study of displays in contralateral acoustic reflex auditory stimulation // *Doklady Biochemistry and Biophysics*. 2016. Vol. 468. № 1. Pp. 224-225. DOI: 10.7868/S0869565216180250
- [4] Драган С.П., Солдатов С.К., Богомолов А.В., Дроздов С.В., Поляков Н.М. Оценка акустической эффективности средств индивидуальной защиты от экстрааурального воздействия авиационного шума // *Авиакосмическая и экологическая медицина*. 2013. Т. 47. № 5. С. 21-26.
- [5] Bogomolov A.V., Gan S.P., Zinkin V.N., Alekhin M.D. Acoustic factor environmental safety monitoring information system // *Proceedings of 2019 22nd International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2019*. 22. 2019. Pp. 215-218. DOI: 10.1109/SCM.2019.8903729
- [6] Ушаков И.Б., Богомолов А.В., Драган С.П., Солдатов С.К. Методологические основы персонализированного акустического мониторинга // *Безопасность труда в промышленности*. 2020. № 10. С. 33-39. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-10-33-39
- [7] Ушаков И.Б., Богомолов А.В., Драган С.П., Солдатов С.К. Методологические основы персонализированного

гигиенического мониторинга // *Авиакосмическая и экологическая медицина*. 2017. Т. 51. № 6. С. 53-56. DOI: 10.21687/0233-528X-2017-51-6-53-56

- [8] Харитонов В.В., Солдатов С.К., Драган С.П., Богомолов А.В., Шешегов П.М., Зинкин В.Н., Соловей Ю.Н. Обоснование требований к средствам коллективной защиты от авиационного шума // *Безопасность жизнедеятельности*. 2021. № 6 (246). С. 3-13.
- [9] Zhdanko I.M., Zinkin V.N., Soldatov S.K., Bogomolov A.V., Sheshegov P.M. Fundamental and applied aspects of preventing the adverse effects of aviation noise // *Human Physiology*. 2016. Vol. 42. № 7. Pp. 705-714. DOI: 10.1134/S0362119716070227
- [10] Dragan S.P., Bogomolov A.V. A method for noninvasive diagnostic examination of the tympanic membrane using probing polyharmonic sound signals // *Biomedical Engineering*. 2017. Vol. 50. № 6. Pp. 390-392. DOI: 10.1007/s10527-017-9662-2
- [11] Bogomolov A., Dragan S. Labour health and safety of personnel exposed to traffic and industrial noise // *Advances in Social Science, Education and Humanities Research. Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference*. Amsterdam, 2021. Pp. 123-126. DOI: 10.2991/assehr.k.210322.095
- [12] Dragan S.P., Bogomolov A.V. A method for acoustic impedance spectroscopy of the respiratory tract // *Biomedical Engineering*. 2016. Vol. 49. № 5. Pp. 278-282. DOI: 10.1007/s10527-016-9548-8
- [13] Bogomolov A.V., Dragan S.P. A new approach to the study of impedance characteristics of tympanic membrane // *Doklady Biochemistry and Biophysics*. 2015. Vol. 464. № 1. Pp. 269-271. DOI: 10.1134/S1607672915050014
- [14] Драган С.П., Богомолов А.В. Метод оценивания акустической безопасности человека // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. Т. 13. № 1. С. 259-278. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-1-259-278
- [15] Драган С.П., Солдатов С.К., Зинкин В.Н., Шешегов П.М. Требования к акустической эффективности средств коллективной защиты от авиационного шума // *Безопасность труда в промышленности*. 2022. № 2. С. 43-49. DOI: 10.24000/0409-2961-2022-2-43-49
- [16] Богомолов А.В., Драган С.П., Зинкин В.Н., Алехин М.Д. Информационная система мониторинга экологической безопасности по акустическому фактору // *Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям*. 2019. Т. 1. С. 313-316.
- [17] Iskhakova A.O., Alekhin M.D., Bogomolov A.V. Time-frequency transforms in analysis of non-stationary quasi-periodic biomedical signal patterns for acoustic anomaly detection // *Information and Control Systems*. 2020. Vol. 104. № 1. Pp. 15-23. DOI: 10.31799/1684-8853-2020-1-15-23
- [18] Богомолов А.В., Драган С.П., Зинкин В.Н., Ларкин Е.В. Анализ неопределенности акустических измерений при различных углах падения акустических волн на измерительный микрофон // *Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям*. 2020. Т. 1. С. 268-272.
- [19] Dragan S.P., Olenina I.V., Bogomolov A.V., Larkin E.V. Intelligent information-measuring system for the study of acoustic reflex // *Proceedings of 2021 24th International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2021*. SPb, 2021. Pp. 247-250. DOI: 10.1109/SCM52931.2021.9507149
- [20] Dragan S.P., Drozdov S.V., Zinkin V.N., Bogomolov A.V., Soldatov S.K. Efficiency of acoustic noise protection // *Biomedical Engineering*. 2013. Vol. 47. № 3. Pp. 150-152.