

# Информационная система мониторинга экологической безопасности по акустическому фактору

А. В. Богомолов<sup>1</sup>, С. П. Драган<sup>2</sup>, В. Н. Зинкин<sup>3</sup>

Государственный научный РФ – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И.Бурназяна

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

<sup>3</sup>zinkin-vn@yandex.ru

М. Д. Алёхин

АО «Электронное приборостроение»

max.d.alekhin@gmail.com

**Аннотация.** Представлены математическое обеспечение и архитектура информационной системы мониторинга экологической безопасности профессиональной деятельности авиационных специалистов по акустическому фактору.

**Ключевые слова:** экологическая безопасность; акустический фактор; мониторинг безопасности; информационная система медицинского назначения; эргономика

## I. ВВЕДЕНИЕ

Научно-технический прогресс обуславливает повышению мощности промышленного оборудования, сопровождающемуся увеличением неблагоприятных факторов условий деятельности персонала. Ведущее место среди таких факторов занимает шум: около 25% рабочих мест персонала промышленности не соответствуют нормативам по шуму [1–3].

Мониторинг акустической безопасности предполагает оценивание шума окружающей среды, включающего специфичный (связанный с исследуемыми источниками шума) и остаточный (шум окружающей среды без наличия специфичного шума) компонент [4–7]. Обязательной частью любой программы обеспечения акустической безопасности является проведение объективных акустических измерений. Правила и стандарты определяют показатели, которые подлежат измерению, и, в большинстве случаев, устанавливают рекомендации по настройке измерительного оборудования в зависимости от различных факторов (метеорологических, климатических) [8–11].

Типовыми являются акустические измерения, которые выполняются на большом расстоянии от фасадов зданий и препятствий, с подветренной стороны, в сухую погоду при скорости ветра менее 5 м/с, с размещением микрофона на высоте 1,2–1,5 м над уровнем земли.

В качестве показателя промышленного шума

Международным стандартом ISO 1996-2 определена величина шумового воздействия, откорректированная с учётом ряда факторов, увеличивающих степень раздражения (импульсный характер шума, время суток и др.) и установлено, что граничные оценки следует определять в зависимости от интервалов времени, связанных с характеристиками источника/источников и приёмника/приёмников шума [4–9]. Расчёт уровней шума из-за большого объема данных, характерных для акустических измерений в реальном масштабе времени, выполняются автоматизировано.

При акустическом мониторинге применяют компьютерные модели окружающей среды с указанием идентифицированных шумовых источников, топографических параметров и особенностей местности, влияющих на распространение шума до исследуемых точек (приёмника).

Современные средства для акустических измерений могут функционировать в полевых условиях при отсутствии обслуживающего персонала, регистрировать уровни шума окружающей среды, отправляя отчёты по беспроводному протоколу. Участие оператора в процедуре акустических измерений необходимо при мониторинге акустической безопасности в сложных условиях: ограничено время, затруднён доступ к измерительной площадке, невозможно подключить оборудование к сети или сетевое питание подается в импульсном режиме, имеет место неожиданное событие или измерение прервано и оператор не сможет выполнить повторные измерения.

В большинстве случаев мониторинга акустической безопасности персонала рациональным является сочетание измерений при участии оператора с измерениями в автоматическом режиме [9]. В этом случае присутствие оператора при проведении измерений в рамках экспериментальных исследований и при мгновенных проверках на измерительной площадке обязательно, а режим автоматизированных измерений применяют при долгосрочном или непрерывном мониторинге акустической безопасности.

## II. МЕТОД ОЦЕНИВАНИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОНИТОРИНГА

Расчет показателя акустической безопасности персонала – *коэффициента акустической безопасности* – основан на сопоставлении измеренных показателей акустической обстановки по шуму и инфразвуку в местах жизнедеятельности человека с предельно допустимыми уровнями (ПДУ), установленными санитарными нормами.

Коэффициент акустической безопасности персонала ( $k$ , дБ) определим как

$$k = 20 \lg \frac{\sum_{i=1}^n 10^{\Delta_i/20}}{n},$$

где  $n=19$  – количество используемых показателей акустической обстановки,  $\Delta_i$  – разница между ПДУ и соответствующим ему измеренным значением  $i$ -го показателя акустической обстановки.

Когда все показатели акустической обстановки, используемые для его расчета, равны ПДУ,  $k = 0$ . Чем меньше измеренные значения показателей акустической обстановки по сравнению с ПДУ, тем больше коэффициент  $k$  и, соответственно, тем лучше акустическая безопасность персонала.

При расчете  $k$  все показатели акустической обстановки считаются равнозначными, а корректность их свертки в интегральный показатель определяется суммированием величин  $\Delta_i$  в линейном масштабе с последующим переводом результата в логарифмическую шкалу.

Множество показателей акустической обстановки, используемых для расчета значения коэффициента  $k$ , состоит из подмножеств фиксированных и вариативных показателей.

Подмножество фиксированных показателей включает шесть показателей акустической обстановки, определенных санитарными нормами:

1. Эквивалентный уровень звука  $A$  за рабочую смену ( $L_{p,Aeq,8h}$ , дБА), измеренный с частотной коррекцией по шкале «А» и/или рассчитанный за 8 ч рабочей смены. Нормативным эквивалентным ПДУ звука на рабочих местах специалистов большинства отраслей (подотраслей) экономики является 80 дБА (для отдельных отраслей экономики допускается эквивалентный уровень шума на рабочих местах до 85 дБА при условии подтверждения приемлемого риска здоровью работающих и выполнения комплекса мероприятий, направленных на минимизацию рисков здоровью работающих).

2. Максимальный уровень звука  $A$ , измеренный с временной коррекцией «медленно»  $S = 1$  с ( $L_{S,Amax}$ , дБА), ПДУ которого равен 110 дБА.

3. Максимальный уровень звука  $A$ , измеренный с временной коррекцией «импульс»  $I = 40$  мс ( $L_{I,Amax}$ , дБА), ПДУ которого равен 125 дБА.

4. Пиковый уровень звука  $C$  – пиковый

корректированный по шкале «С» уровень звука ( $L_{p,Cpeak}$ , дБС), ПДУ которого равен 137 дБС.

Следует отметить, что при регистрации импульсного или тонального шума предельно допустимые уровни снижаются на 5 дБ [9].

5. Эквивалентный общий уровень инфразвука за рабочую смену ( $L_{p,ZI,eq,8h}$ , дБ) – уровень звукового давления в диапазоне частот 1,4...22 Гц. ПДУ этого показателя на рабочих местах установлены: в средствах транспорта  $L_{p,ZI,eq,8h} = 110$  дБ, работы различной степени тяжести  $L_{p,ZI,eq,8h} = 100$  дБ и работы различной степени интеллектуально-эмоциональной напряженности  $L_{p,ZI,eq,8h} = 95$  дБ.

6. Максимальный общий уровень инфразвука, измеренный с временной коррекцией  $S$  (медленно) в диапазоне частот 1,4...22 Гц ( $L_{ZFmax}$ , дБ), ПДУ которого  $L_{ZFmax} = 120$  дБ.

Подмножество вариативных показателей акустической обстановки включает до тринадцати показателей, определенных санитарными нормами, число которых определяется числом октавных полос частот, в которых нужно обеспечить или оценить акустическую безопасность персонала:

1) эквивалентные уровни звукового давления (УЗД) за рабочую смену в октавных полосах частот 2, 4, 8, 16 Гц ( $L_{p,1/1,eq,8h}$ , дБ). ПДУ этого показателя установлены санитарными нормами и дифференцированы для трех видов работ: в средствах транспорта, работы различной степени тяжести, работы различной степени интеллектуально-эмоциональной напряженности; при этом максимальный текущий общий уровень инфразвука не должен превышать 120 дБ, а при сокращенном рабочем дне (менее 40 ч в неделю) ПДУ применяют без изменения;

2) предельно допустимые УЗД в октавных полосах частот 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц. ПДУ этого показателя определяются видом трудовой деятельности и особенностями рабочего места [9]. Следует отметить, что в настоящее время эти показатели акустической обстановки не нормируются. Тем не менее, для объективизации акустического воздействия их необходимо учитывать в связи с тем, что, как правило, спектр промышленных, производственных и транспортных шумов наряду с высокими частотами содержит инфразвуковые и низкие частоты. Применение действующих нормативов приводит к тому, что использование при измерении шума шкалы «А» подразумевает фильтрацию шума, приводящую к занижению его интенсивности на низких частотах. На частоте 500 Гц отличие между уровнем звука и уровнем звукового давления составит 3 дБ, а на частоте 22 Гц это отличие достигнет 50 дБ. То есть значительная часть энергии шума оказывается неучтенной в показателях акустической обстановки, нормируемых согласно санитарным нормам. Поэтому, для объективизации оценивания акустической безопасности персонала разработанный метод обеспечивает учёт уровней звукового давления в октавных полосах со

среднегеометрическими частотами 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц.

По величине  $k$  акустическая безопасность может быть оценена как:

- неудовлетворительная, если  $k < 5$ ;
- удовлетворительная, если  $5 \leq k < 15$ ;
- хорошая, если  $15 \leq k < 25$ ;
- отличная, если  $k \geq 25$ .

### III. АРХИТЕКТУРА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ МОНИТОРИНГЕ АКУСТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АВИАЦИОННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ

Информационная система поддержки принятия решений при мониторинге акустической безопасности профессиональной деятельности авиационных специалистов реализована по принципу территориально-распределенной системы, компоненты которой объединены в единое целое общим информационным полем. Реализация системы основана на санитарно-гигиенической паспортизации объектов – источников потенциально опасных физических факторов условий профессиональной деятельности и радиочастотной идентификации траектории работника при выполнении задач профессиональной деятельности. Под санитарно-гигиенической паспортизацией объектов понимается система мероприятий по выявлению и учету организаций и их структурных подразделений, а также технологических процессов, где работники могут подвергаться воздействию потенциально опасных физических факторов [12–14].

В интересах мониторинга акустической безопасности профессиональной деятельности авиационных специалистов на объекте (аэродроме, предприятии авиационной промышленности, авиаремонтном заводе и т.п.):

- должно быть создано специальное рабочее место администратора,
- на обмундировании (снаряжении) каждого работника (авиационного специалиста) перед началом выполнения профессиональной деятельности должен закрепляться транспондер (RFID-метка);
- каждый объект – источник потенциально опасных физических факторов условий профессиональной деятельности (промышленное оборудование, авиационная техника и т.п.) должен быть оборудован специальным параметрическим регистратором.

Рабочее место администратора должно быть оборудовано компьютером, обеспечивающим ведение гигиенического регистра, содержащего информацию о дозах шума и других физических факторов, получаемых каждым работником в процессе профессиональной деятельности.

Транспондер (RFID-метка), закрепляемая на обмундировании (снаряжении) каждого работника перед началом выполнения профессиональной деятельности. Тип применяемых транспондеров (по рабочей частоте, по источнику питания, по типу памяти, по исполнению) выбирают в зависимости от специфики организаций (структурных подразделений) и от специфики профессиональной деятельности работника. В частности, за работником может быть закреплен уникальный идентификатор (для использования работником изготавливается один или несколько транспондеров с уникальным идентификатором) или же транспондер может выдаваться работнику перед началом деятельности (в этом случае идентификатор транспондера каждый раз связывается с конкретным работником).

Параметрический регистратор, устанавливаемый на каждом объекте – источнике шума, должен обеспечивать:

- фиксацию в реальном времени перемещения нескольких маркированных объектов (работников, имеющих транспондер) либо идентифицировать их положение в пространстве;
- расчет в реальном времени интенсивности шума, образующегося при функционировании оборудования (в зависимости от режима функционирования) в точке нахождения каждого фиксируемого объекта;
- передачу комбинации «идентификатор объекта – интенсивность шума» на рабочее место администратора по радиоканалу.

Таким образом, при включении оборудования активируется параметрический регистратор, радиус считывания транспондеров (радиус идентификации) которого должен превышать расстояние, на котором вероятность превышения предельно допустимых уровней максимально возможной интенсивностью шумов, сопровождающих функционирование оборудования, отлична от нуля.

При идентификации работника (попадании транспондера в зону идентификации) параметрический регистратор обеспечивает расчет в реальном времени интенсивности шума в точке его нахождения. Расчет может осуществляться как на основании верифицированных математических моделей физических полей, так и на результатах интерполяции прямых измерений полей физических факторов, полученных при санитарно-гигиенической паспортизации объектов. Частота (дискретность) расчетов определяется для каждого объекта (или для каждого физического фактора, если объект является источником нескольких потенциально опасных физических факторов) в зависимости от специфики решаемых задач [12].

Результаты «идентификатор объекта – интенсивность шума» передаются на рабочее место администратора по радиоканалу в реальном времени или в конце рабочих смен (в зависимости от специфики решаемой задачи). На рабочем месте администратора осуществляется ведение

гигиенического регистра с определением доз физических факторов, накопленных за любой интересующий период. При одновременном воздействии на работника нескольких потенциально опасных физических факторов по известным методикам могут быть оценены эффекты их комбинированного воздействия.

Результаты мониторинга акустической безопасности профессиональной деятельности авиационных специалистов, сопоставленные с изменениями показателей здоровья работников, позволяют решать задачи наблюдения, анализа, оценивания и прогнозирования функциональной надежности профессиональной деятельности авиационных специалистов с определением причинно-следственных связей между состоянием здоровья и воздействием факторов условий профессиональной деятельности для своевременного принятия мер по устранению (минимизации) потенциально опасного воздействия.

#### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанное математическое обеспечение позволяет количественно оценить акустическую безопасность персонала, обосновать приоритеты повышения акустической безопасности и оценить эффективность реализации мероприятий, направленных на ее обеспечение. Применение разработанной информационной системы поддержки принятия решений позволит обеспечить его объективность и персонализацию с минимальными затратами на сбор информации о дозах шума, получаемых работниками при выполнении задач профессиональной деятельности, что имеет существенное значение для обеспечения надежной деятельности и сохранения здоровья авиационных и других специалистов, профессиональная деятельность которых осуществляется в условиях воздействия высокоинтенсивного промышленного и транспортного шума.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Солдатов С.К., Богомолов А.В., Зинкин В.Н., Аверьянов А.А., Россельс А.В., Пацкин Г.А., Соколов Б.А. Средства и методы защиты от авиационного шума: состояние и перспективы развития // *Авиакосмическая и экологическая медицина*. 2011. Т. 45. № 5. С. 3-11.
- [2] Васильев А.В. Подходы к оценке экологического риска при воздействии акустических загрязнений // *Экология и промышленность России*. 2018. № 2. С. 25-27.
- [3] Зинкин В.Н., Солдатов С.К., Кукушкин Ю.А., Афанасьев Р.В., Богомолов А.В., Ахметзянов И.М., Свиловый В.И., Пирожков М.В.

Гигиеническая оценка условий труда работников «шумовых» профессий авиаремонтных заводов // *Медицина труда и промышленная экология*. 2008. № 4. С. 40-42.

- [4] Богомолов А.В., Драган С.П. Метод акустической квалитметрии средств коллективной защиты от шума // *Гигиена и санитария*. 2017. Т. 96. № 8. С. 755-759.
- [5] Bogomolov A.V., Sviridyuk G.A., Keller A.V., Zinkin V.N., Alekhin M.D. Information-logical Modeling of Information Collection and Processing at the Evaluation of the Functional Reliability of the Aviation Ergate Control System Operator // *Proceedings of the 3rd International Conference Ergo-2018: Human Factors in Complex Technical Systems and Environments, Ergo 2018*. P. 106-110.
- [6] 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.
- [7] 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. Т. 42. № 7. С. 705-714.
- [8] Zinkin V.N., Kukushkin Y.A., Bogomolov A.V., Dragan S.P., Zagrebina S.A. Acoustic Safety of Professional Activity of State Aviation Flight Crews // *Proceedings of the 3rd International Conference Ergo-2018: Human Factors in Complex Technical Systems and Environments, Ergo 2018*. P. 122-126.
- [9] Dragan S.P., Drozdov S.V., Zinkin V.N., Bogomolov A.V., Soldatov S.K. Efficiency of acoustic noise protection // *Biomedical Engineering*. 2013. Т. 47. № 3. С. 150-152.
- [10] Вильк М.Ф., Глуховский В.Д., Курьеров Н.Н., Панкова В.Б., Прокопенко Л.В. Современный методический подход к оценке акустической нагрузки на членов летных экипажей воздушных судов гражданской авиации // *Медицина труда и промышленная экология*. 2017. № 3. С. 27-32.
- [11] Пономаренко В.А., Солдатов С.К., Филатов В.Н., Богомолов А.В. Обеспечение персонализированной акустической защиты авиационных специалистов (практические аспекты) // *Военно-медицинский журнал*. 2017. Т. 338. № 4. С. 44-50.
- [12] Богомолов А.В., Драган С.П., Зинкин В.Н., Загребина С.А., Свиридюк Г.А., Ларкин Е.В. Информационная система поддержки принятия решений при мониторинге акустической безопасности профессиональной деятельности авиационных специалистов // *Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям*. 2018. Т. 2. С. 202-205.
- [13] 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.
- [14] 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. Т. 51. № 1. С. 72-76.