

EDN: <https://elibrary.ru/ysuvue>

DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-10-650-656>

УДК 613.644:534.612:534.75:311.15

© Коллектив авторов, 2023

Прокопенко Л.В., Курьеров Н.Н., Лагутиной А.В.

К пересмотру стандарта ISO 1999:2013 «Акустика. Оценка потери слуха вследствие воздействия шума»: эксцессная поправка на «импульсность» шума

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова», пр-т Будённого, 31, Москва, 105275

Введение. В связи с развитием измерительной и компьютерной техники открываются новые возможности и подходы к решению проблемы измерения, гигиенической оценки, нормирования и прогноза нарушений слуха от воздействия непостоянного, в частности, импульсного шума.

Цель исследования — анализ применимости модели оценки потери слуха, основанной на использовании эксцессной поправки к экспозиции воздействующего шума, по проекту стандарта ISO 1999:2023.

Материалы и методы. Проведён экспертно-аналитический сравнительный анализ стандартов ISO 1999, определяющих основы оценки потери слуха вследствие воздействия шума. Выполнен литературный обзор отечественных и зарубежных источников по проблеме применения показателя распределения мгновенных величин звукового давления — эксцесса для оценки постоянных и непостоянных шумов, а также его роли в формировании потери слуха при действии негауссовского — импульсного шума, применимости модели прогнозирования стандарта ISO 1999 к различным типам шумового воздействия.

Результаты. Представлены результаты анализа: показателей для оценки неблагоприятного воздействия непостоянного, в том числе импульсного шума; взаимосвязи между воздействием негауссовского шума и постоянным смещением порогов слуха работников; статистического показателя эксцесса — косвенного показателя временной структуры шума, значимого фактора риска в комплексе с экспозицией шума в оценке потери слуха.

Выводы. Пересмотр стандарта ISO 1999:2013 с введением нового показателя временной структуры шума — эксцесса, позволит повысить точность метода прогноза потерь слуха при воздействии постоянного, непостоянного шума, включая импульсный.

Этика. При подготовке статьи авторы руководствовались этическими принципами медицинских исследований, изложенными в Хельсинской декларации всемирной медицинской ассоциации последнего пересмотра.

Ограничение исследований. Особенности стандартов ISO 1999, посвящённых оценке воздействия производственного шума и оценке вызванных шумом нарушений слуха.

Ключевые слова: акустика; гауссовский и негауссовский шум; импульсный шум; временная характеристика шума; эксцесс; правило равной энергии; профессиональный риск; прогноз потери слуха; проект стандарта ISO 1999:2023

Для цитирования: Прокопенко Л.В., Курьеров Н.Н., Лагутина А.В. К пересмотру стандарта ISO 1999:2023 «Акустика. Оценка потери слуха вследствие воздействия шума»: эксцессная поправка на «импульсность» шума. *Мед. труда и пром. экол.* 2023; 63(10): 650–656. <https://elibrary.ru/ysuvue> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-10-650-656>

Для корреспонденции: Курьеров Николай Николаевич, вед. науч. сотр. лаборатории физических факторов ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова». E-mail: courierov@mail.ru

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Участие авторов:

Прокопенко Л.В. — концепция и дизайн исследования, анализ нормативных документов и литературных источников, написание и редактирование текста статьи;

Курьеров Н.Н. — концепция и дизайн исследования, анализ нормативно-методической документации, проведение расчётов и анализ результатов, написание текста;

Лагутина А.В. — анализ нормативно-методической документации, редактирование.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Дата поступления: 25.10.2023 / Дата принятия к печати: 30.10.2023 / Дата публикации: 05.11.2023

Ludmila V. Prokopenko, Nikolay N. Courierov, Alla V. Lagutina

To the revision of the ISO 1999:2013 standard "Acoustics. Assessment of hearing loss due to noise exposure": an excessive correction for the "impulsiveness" of noise

Izmerov Research Institute of Occupational Health, 31, Budyonnogo Ave., Moscow, 105275

Introduction. In connection with the development of measuring and computer technology, new opportunities and approaches are opening up to solve the problem of measurement, hygienic assessment, normalization and prediction of hearing impairment from exposure to unstable, in particular, pulse noise.

The study aims to analyze the applicability of a model for assessing hearing loss based on the use of an excessive correction to the exposure of impacting noise, according to the draft ISO 1999:2023 standard.

Materials and methods. The scientists have conducted an expert and analytical comparative analysis of ISO 1999 standards, which define the basis for assessing hearing loss due to noise exposure. The experts have carried out a literary review of domestic and foreign sources on the problem of using the index of the distribution of instantaneous values of sound pressure — excess to assess constant and non-constant noise, as well as its role in the formation of hearing loss under the action of non-Gaussian pulse noise, the applicability of the prediction model of the ISO 1999 standard to various types of noise exposure.

Results. The scientists presented the results of the analysis of: indicators for assessing the adverse effects of non-constant, including pulse noise; the relationship between the effects of non-Gaussian noise and the constant shift in the hearing thresholds of workers; statistical indicator of excess — an indirect indicator of the temporal structure of noise, a significant risk factor in combination with noise exposure in the assessment of hearing loss.

Conclusion. Revision of the ISO 1999:2013 standard with the introduction of a new indicator of the temporal structure of noise — kurtosis, will improve the accuracy of the method of predicting hearing loss when exposed to constant, non-constant noise, including impulsive.

Ethics. In preparing the article, the authors were guided by the ethical principles of medical research set out in the Helsinki Declaration of the World Medical Association of the last revision.

Limitation. Features of ISO 1999 standards dedicated to the assessment of the impact of industrial noise and the assessment of noise-induced hearing impairment.

Keywords: acoustics; Gaussian and non-Gaussian noise; pulse noise; time characteristic of noise; kurtosis; equal energy rule; occupational risk; prediction of hearing loss; draft ISO 1999:2023 standard

For citation: Prokopenko L.V., Courierov N.N., Lagutina A.V. To the revision of the ISO 1999:2013 standard "Acoustics. Assessment of hearing loss due to noise exposure": an excessive correction for the "impulsiveness" of noise. *Med. truda i prom. ekol.* 2023; 63(10): 650–656. <https://elibrary.ru/ysuvue> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-10-650-656> (in Russian)

For correspondence: Nikolay N. Courierov, the leading researcher of Physical factors laboratory, Izmerov Research Institute of Occupational Health. E-mail: courierov@mail.ru

Contribution:

Prokopenko L.V. — concept and design of the study, analysis of regulatory documents and literary sources, writing and editing the text of the article;

Courierov N.N. — concept and design of the study, analysis of normative and methodological documentation, calculations and analysis of results, writing the text;

Lagutina A.V. — analysis of normative and methodological documentation, editing.

Author IDs: Prokopenko L.V. <https://orcid.org/0000-0001-7767-8483>

Courierov N.N. <https://orcid.org/0000-0001-7064-5849>

Lagutina A.V. <https://orcid.org/0000-0002-7177-1350>

Funding. The study had no funding.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

Received: 25.10.2023 / Accepted: 30.10.2023 / Published: 05.11.2023

Совершенствование методов измерения и гигиенической оценки неблагоприятных факторов производственной среды, в частности, одного из наиболее распространённых — шума (постоянного, непостоянного, импульсного), обуславливающего порядка четверти всех профессиональных заболеваний в стране, способствует повышению качества прогноза нарушений слуха и эффективности профилактических мероприятий.

В 1971 г. появилась рекомендация ISO/R 1999:1971¹ по оценке экспозиции шума для сохранения слуха, послужившая основой для стандарта ISO 1999:1975², затем вышли стандарты — ISO 1999:1990³ и ISO 1999:2013⁴.

Стандартами ISO 1999 были заложены основы оценки вероятности — риска потери слуха, обусловленного воздействием производственного шума.

Так, в рекомендации ISO R 1999:1971 по оценке профессиональной шумовой экспозиции содержалась таблица с графой «риск, %» как вероятность потери слуха в зависимости от уровня шума в дБА и стажа работы в условиях его воздействия (Э.И. Денисов, 2018) [1]. За критерий нарушения слуха в документе принято среднеарифметическое значение постоянного смещения порогов слуха на частотах 500, 1000 и 2000 Гц, равное 25 дБ и более (Г.А. Суворов, А.Н. Шкаринов, Э.И. Денисов, 1984) [2].

Особо следует отметить, что рекомендации ISO R 1999:1971 и разработанный на её основе стандарт ISO 1999–1975 «Акустика. Оценка воздействия производственного шума с целью сохранения слуха» были

неприменимы в отношении импульсных шумов, представляющих собой импульсы продолжительностью менее 1 с или отдельные импульсы высокого уровня малой продолжительности.

В стандарте ISO 1999:1990 «Определение воздействия производственного шума и оценка вызванного шумом нарушения слуха» (по сути, усовершенствованный вариант предыдущей версии стандарта) было предусмотрено использование метода расчёта ожидаемого постоянного смещения порогов слуха для взрослого населения в зависимости от уровня шума не только постоянного, но и импульсного, стажа работы, пола, возраста.

Для прогнозирования потери слуха рекомендовалось приравнять действие импульсных и тональных шумов к действию постоянного нетонального шума с уровнем на 5 дБ выше и соответственно в расчётах увеличивать величину стажевой экспозиции на 5 дБА.

Из стандарта ISO 1999:2013 указанная рекомендация исключена, но метод прогнозирования постоянного смещения порогов слуха учитывает воздействие как постоянного, так и импульсного/ударного шума.

Положения стандарта ISO 1999:2013 «Акустика. Оценка потери слуха вследствие воздействия шума» действуют в нашей стране с принятием ГОСТ Р ИСО 1999–2017 (ISO 1999:2013, IDT) «Акустика. Оценка потери слуха вследствие воздействия шума» [3]. Таким образом, впервые национальный стандарт РФ распространяется и на оценку нарушений слуха от воздействия импульсного шума.

Вместе с тем, в разработанные в рамках «регуляторной гильотины» СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» не включены определение и нормы импульсного шума, содержащиеся с 1985 г. в документах санитарного законодательства [4].

Сложившаяся в нашей стране в конце прошлого века и действующая до наших дней практика гигиенической оценки более агрессивного по действию на слух в сравнении

¹ ISO/R 1999-1971 Acoustics — Assessment of occupational noise exposure for hearing conservation purposes International Organization for Standardization; 1971.

² ISO 1999:1975 Acoustics — Assessment of occupational noise exposure for hearing conservation purposes. International Organization for Standardization; 1975.

³ ISO 1999:1990 Acoustics—Determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment. International Organization for Standardization; 1990.

⁴ ISO 1999:2013 Acoustics — Estimation of noise-induced hearing loss. International Organization for Standardization; 2013.

с постоянным шумом равных уровней непостоянного — импульсного шума, базируется на следующем определении и критериях импульсного шума, поправке на импульсный шум к предельно допустимому уровню шума:

- импульсный шум — непостоянный шум, состоящий из одного или нескольких звуковых сигналов, каждый длительностью менее 1 с, при этом уровни звука в дБА и дБАС, измеренные соответственно на временных характеристиках «импульс» и «медленно» шумомера, различаются между собой не менее чем на 7 дБ;
- ПДУ для импульсного шума установлен на 5 дБА ниже, чем для постоянного шума [2, 5].

Близкий подход к оценке импульсного шума отражён в Директиве ЕС 2003/10⁵ и национальных нормативных документах ряда стран.

Следует отметить, что существуют некоторые различия в классификации и терминологических определениях непостоянных шумов в разных странах. Например, в США дифференцируют импульсный шум от выстрелов, взрывов и ударный шум при технологических процессах. В России и Европе под импульсным шумом подразумевают обычно шум при технологических процессах с применением ударов.

В практике измерений параметров кратковременных процессов, в том числе и акустических, давно применяются «пиковые» и максимальные среднеквадратические величины, усреднённые с различными значениями постоянного времени.

Большое внимание уделяется статистическому распределению не только уровней, но и мгновенных величин звукового давления.

Известно, что для постоянного шума характерно нормальное статистическое распределение (по Гауссу), в котором имеется определённая вероятность присутствия звукового давления в 3, 4, 5 раз выше среднего, т. е. мгновенных уровней звукового давления на 10, 12, 15 дБ больше эквивалентного уровня звука.

Статистическое распределение мгновенных величин звукового давления непостоянных — прерывистых и импульсных шумов, будет отличаться от нормального распределения тем больше, чем выше степень импульсности (негауссовский шум).

Зарубежные авторы относят к негауссовскому шуму также комплексный, сложный шум, состоящий из импульсного шума, накладывающегося на фоновый шум Гаусса.

Ранее было показано, что для постоянного шума с эквивалентным уровнем звука 80 дБА суммарное время действия мгновенных уровней звука более 90 дБА составит не более 1% времени действия, а для импульсного шума при тех же условиях может достигать 5–6% времени действия.

В настоящее время не существует единого стандарта для измерения негауссовского, в т. ч. импульсного шума на рабочем месте. Вместе с тем, был обоснован и разработан ряд показателей для оценки неблагоприятного воздействия непостоянного — импульсного шума, в частности:

- метод, основанный на ограничении количества импульсов и соотношения между интенсивностью и количеством импульсов, предложен одним из первых (CHABA, США, 1974) [6];
- показатель — экспозиция уровня звука А за 8 часов ($L_{Aeq, 8h}$) с поправкой на продолжительность и количество импульсов [7];
- показатель SELA — А-взвешенный уровень звуковой экспозиции, приведённый к 1 с (R.P. Hamernik, J.H. Patterson, W.A. Ahroon, 1998) [8];
- показатель $L_{LAeq100ms}$ аналогичный SELA, с приведением уровня экспозиции к 100 мс (стандарт MIL-STD-1474E, U.S. Department of Defense, 2015) [9].

Использование для оценки неблагоприятного воздействия шума такого показателя, как статистическое распределение мгновенных величин звукового давления — эксцесса, предложено в 1994 г. в исследованиях на животных (S.F. Lei, R.P. Hamernik, J.H., Ahroon) [10].

Впоследствии была подтверждена связь потери слуха с ростом эксцесса при действии сложного негауссовского шума [11–14]. Показаны преимущества использования эксцесса, заключающиеся в учёте всех пиков, а также относительной разницы между пиковым и фоновым уровнями звука (B.J. Erdreich, 1986) [15].

Эксцесс можно определить как статистический показатель, который является мерой «крутости» (величина «островершинности») кривой графика распределения измеряемого признака, в нашем случае — это мгновенные величины звукового давления.

Эксцесс рассматривается в качестве косвенного показателя, отражающего временную структуру шума, и значимого фактора риска нарушения слуха [16–20].

На **рисунке 1** в качестве примера приведено распределение мгновенных величин звукового давления постоянного и импульсного шума: при равных уровнях 101 дБ показано, что для импульсного шума от многоствольного пулемёта Dillion 134D эксцесс составляет 46,9, а для постоянного шума эксцесс равен 3 (**рис. 1а**); значение эксцесса для гауссова шума прядильного производства составляет 3, для негауссова шума различных уровней эксцесс равен 26 для шума при штамповке и 55 — при металлообработке (**рис. 1б**) [21]. При этом следует отметить, что более высоким уровням негауссовского шума соответствуют большие значения эксцесса, постоянному шуму, независимо от уровня, соответствует эксцесс, равный 3.

Таким образом, к фундаментальным характеристикам шума, наряду с уровнем, временем действия, частотным составом и временной структурой (принято выделять постоянный, непостоянный и импульсный шум), добавляется характеристика, уточняющая временную структура шума в виде эксцесса.

Эксцесс (β) определяется как отношение центрального момента четвёртого порядка к квадрату центрального момента второго порядка распределения [22]:

$$\beta = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{\left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^2} \quad (1),$$

где: x_i — мгновенные величины звукового давления; $\bar{x}$ — средние величины звукового давления за время измерения.

Китайскими учёными разработано руководство по измерению негауссовского шума на рабочем месте на основе его эксцессной корректировки. Согласно методике изме-

⁵ Директива Европейского парламента и Совета Европейского Союза 2003/10/ЕС от 6 февраля 2003 г. о минимальных требованиях к здоровью и безопасности работников в отношении рисков, связанных с физическим воздействием (шум) (Семнадцатая отдельная Директива в значении Статьи 16 (1) Директивы 89/391/ЕЭС). — URL: <https://base.garant.ru/70205142/> (дата обращения 11.09.2023).

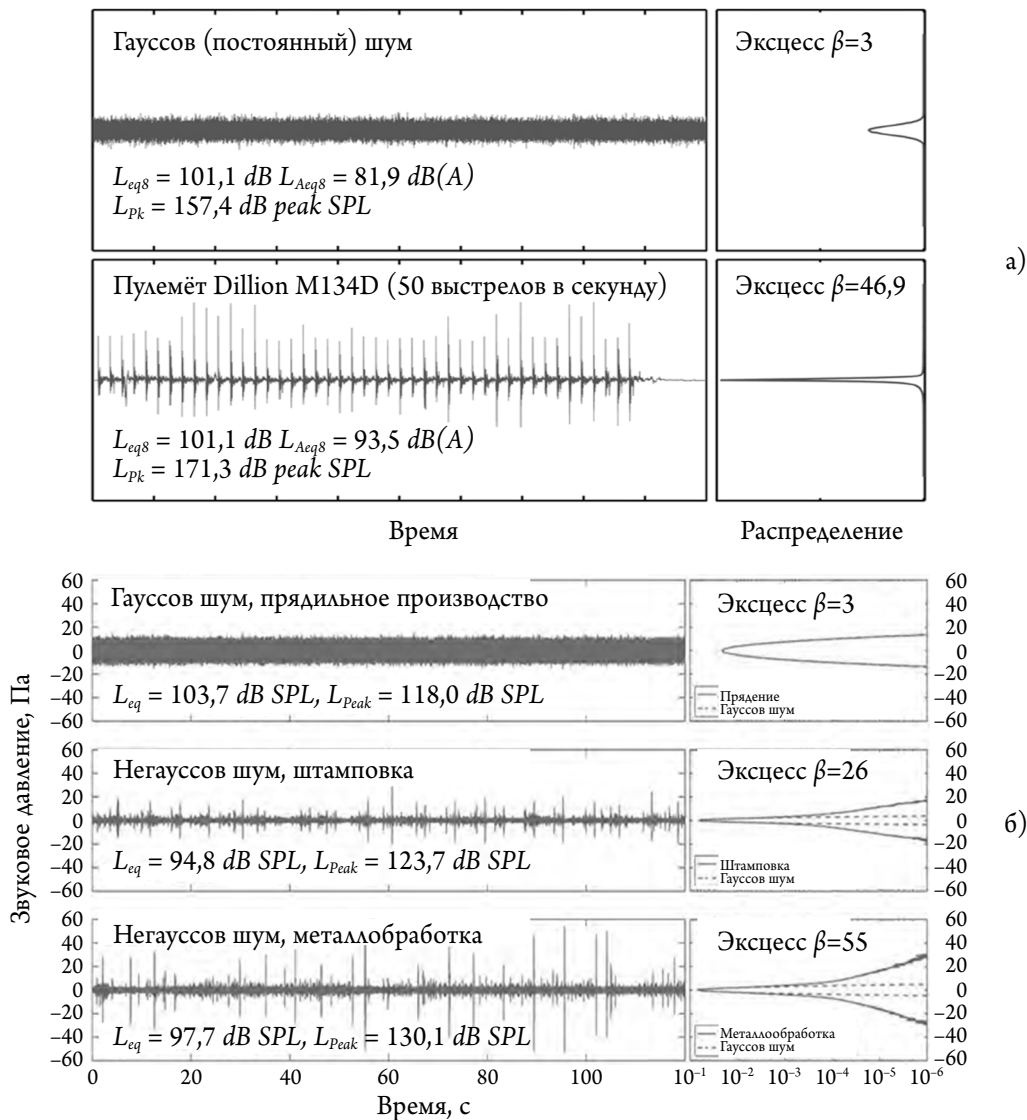


Рис. 1. Распределения мгновенных величин звукового давления импульсного и постоянного шума и величины эксцесса: а) гауссов шум и негауссов шум от стрельбы из многоствольного пулемета Dillion M134D, б) гауссов шум при технологических процессах в прядильном производстве, негауссов шум при штамповке и металлообработке [21]
Fig. 1. Distributions of instantaneous sound pressure values of pulsed and constant noise and the magnitude of the kurtosis: а) Gaussian noise and non-Gaussian noise from firing from a Dillion M134D multi-barrel machine gun; б) Gaussian noise during technological processes in spinning production, non-Gaussian noise during stamping and metalworking [21]

рения A-взвешенный уровень звукового давления, приведённый к номинальному 8-часовому рабочему дню $L_{EX, 8h}$, скорректирован с использованием временной структуры (выраженной эксцессом) [23].

По мнению ряда авторов на основе эксцесса и экспозиции шума может быть разработан новый одночисловой показатель для оценки неблагоприятного влияния негауссовского шума, в т. ч. импульсного [23].

Для оценки риска потери слуха у работников, подвергающихся воздействию сложного шума высоких уровней с учётом эксцессов, предложен алгоритм расчёта «Кумулятивной экспозиции шума» (далее — CNE) [24]:

$$CNE = L_{Aeq, 8h} + 10 \lg T \quad (2)$$

и её коррекция на эксцесс (CNEK):

$$CNEK = L_{Aeq, 8h} + \frac{\ln(\beta) + 1,9}{\log 2} 10 \lg T \quad (3)$$

При оценке точности прогноза потери слуха от шума по модели стандарта ISO 1999:2013 выявлено, что средний порог слуха на частотах 2, 3, 4, 6 кГц был достоверно выше в среднем на 7,5 дБ прогноза у работников, подвергшихся воздействию гауссова шума, и в среднем на 13,6 дБ у работников, подвергшихся воздействию негауссовского шума с высоким эксцессом. При этом было показано, что степень недооценки потери слуха по стандарту ISO 1999 увеличивается с ростом значения эксцесса распределения уровней звукового давления [25].

Следует отметить, что на основании данных постоянных смещений порогов слуха, вызванных гауссовским (текстильное производство) и негауссовским (металлургическое

производство) шумом с учётом эксцесса, была показана значимость эксцесса для определения риска нарушения слуха независимо от использования работниками средств индивидуальной защиты — СИЗ (рис. 2) [26].

Представляет интерес исследование, посвящённое анализу эффективности метода оценки профессиональной потери слуха на частотах 0,5, 1, 2, 3, 4, 6, 8 кГц у работников, подвергающихся воздействию сложного шума с учётом эксцесса в типичных производственных отраслях. Множественный линейный регрессионный анализ показал, что вклад эксцесса в снижение порога слуха на частотах 3, 4, 6 кГц (NIPTS) был вторым после эквивалентного уровня звука ($L_{Aeq, 8h}$) [27]. Это не только подтверждает высокую значимость эксцесса как фактора профессионального риска нарушения слуха, но позволяет рассматривать его в качестве важного инструмента управления риском.

Многочисленными экспериментальными и эпидемиологическими исследованиями доказано, что воздействие непостоянного сложного шума приводит к более серьёзному нарушению слуха, чем постоянный шум, указывая при этом на то, что правилом равной энергии может недооцениваться потеря слуха, вызванная негауссовским комплексным шумом. Общепринятой является оценка действия шума в диапазоне 80–120 дБА по интенсивности или энергии, т. е. по экспозиции при $q=3$ (правило равной энергии). Для шумов очень высоких уровней, например выстрелов, адекватным является параметр эквивалентности $q=1,5-2$.

Примечание. Как известно, в настоящее время используются параметры эквивалентности уровня и времени (дБ/удвоение времени) — q , соответствующие усреднению по энергии $q=3$ (правило равной энергии) установленное на основе концепции энергетического влияния шума на организм (Г.А. Суворов, А.М. Лехницкий, 1975; W. Burns, D.W. Robinson, 1970) или звуковому давлению ($q=6$) — концепция влияния звукового давления на слуховую функцию (W. Kraak et al, 1977); в нормах США по стандарту OSHA принято $q=5$ — концепция энергетического влияния шума на слух, но с учётом восстановления за перерыв (J. Stender, 1974) [2].

Согласно современным представлениям, проблема всех стандартов ISO 1999 заключается в том, что при оценке воздействия на слух негауссовского шума его вре-

менная структура не учитывается, тогда как, результаты многолетних исследований подтверждают необходимость совместного учёта показателей экспозиции и временной структуры шума, т. е. применения эксцессной поправки к экспозиции шума.

Проект стандарта ISO/CD 1999:2023 «Acoustics. Estimation of noise-induced hearing loss («Акустика. Оценка потери слуха, вызванной шумом»)» включает следующие основные положения, представляющие интерес в плане сравнения с действующим стандартом [28]:

- Документ определяет метод расчёта ожидаемого вызванного шумом постоянного порогового сдвига в уровнях порога слуха взрослого населения из-за различных уровней и продолжительности воздействия шума; он обеспечивает основу для расчёта нарушений слуха в соответствии с различными формулами, когда уровни порога слуха на обычно измеряемых аудиометрических частотах или комбинации таких частоты, превышающие определённое значение.

- Все уровни звукового давления, указанные в документе, не учитывают действие средств защиты органов слуха.
- Мерой воздействия шума для населения, подверженного риску, является уровень воздействия шума, приведённый к номинальному 8-часовому рабочему дню, $L_{EX, 8h}$ или $L_{EX, 8hr}$ за определённое количество лет воздействия.
- Документ применяется к шуму в диапазоне приблизительно до 10 кГц, который является устойчивым, прерывистым, колеблющимся, нерегулярным или сложным, а также к уровням воздействия шума, взвешенным по шкале A, приведённый для номинального 8-часового рабочего дня и составляющим от 70 до 100 дБ.
- Представлены формулы для расчёта потери слуха, включая статистическое распределение, в диапазоне аудиометрических частот из-за воздействия шума в зависимости от уровня воздействия шума и продолжительности воздействия (в годах). В формулах не проводится различия между мужским и женским населением.

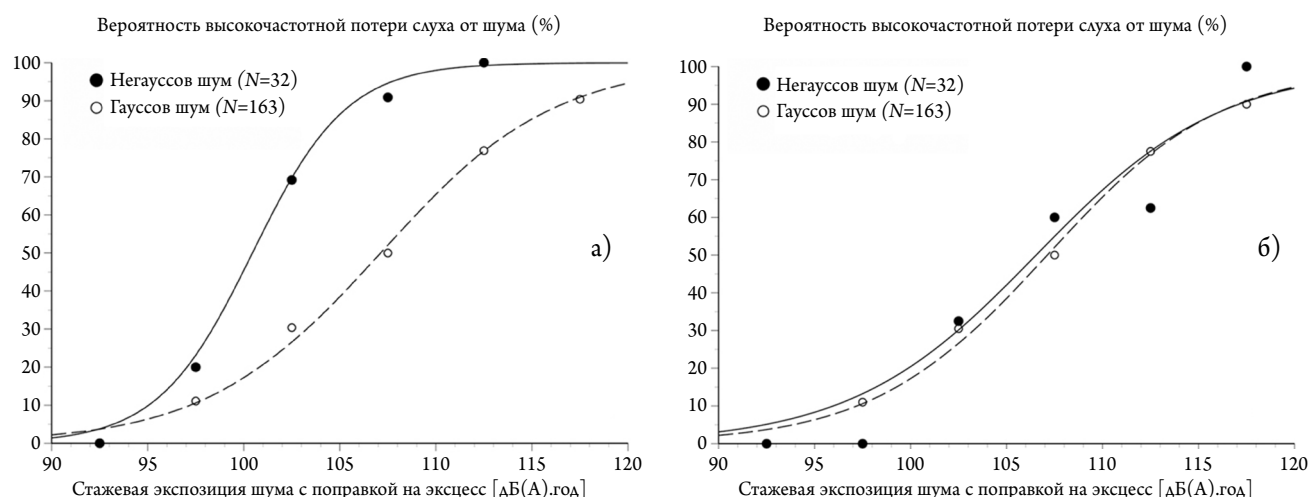


Рис. 2. Высокочастотные потери слуха, вызванные постоянным (гауссовым — текстильное производство) и непостоянным (негауссовским — металлургическое производство) шумом без эксцессной корректировки (А) и с эксцессной корректировкой (В) [26]

Fig. 2. High-frequency hearing loss caused by constant (Gaussian — textile production) and non-constant (non-Gaussian — metallurgical production) noise without kurtosis correction (A) and with kurtosis correction (B) [26]

- Модели потери слуха основаны на данных, которые, как предполагается, относятся главным образом к группам населения, подвергающимся профессиональному шуму, их можно использовать, с некоторой осторожностью, для оценки последствий сопоставимого непродолжительного и комбинированного воздействия.
- Представленный метод прогнозирования для $L_{EX,sh}$ основан главным образом на данных, собранных с использованием, по существу, широкополосного, постоянного, нетонального шума. Метод прогнозирования для условий, которые включают импульсный/ударный шум, должен использовать скорректированный на эксцесс уровень воздействия шума, нормированный до номинального 8-часового рабочего дня, $L_{EX,sh}$.
- Все данные и процедуры, представленные в этом документе, основаны на преднамеренном упрощении экспериментальных данных, в которых продолжительность ежедневного звукового воздействия не превышала 12 часов. Полученные приближения ограничивают достоверность указанными диапазонами переменных, процентных соотношений, уровней воздействия звука и частотных диапазонов.
- Документ основан на статистических данных и поэтому не может быть применён к прогнозированию или оценке потери слуха у отдельных лиц, кроме как с точки зрения статистических вероятностей.

В проекте стандарта ISO/CD 1999:2023 предложены следующие методы оценки величины ежедневной экспозиции шума и усреднённой экспозиции за несколько дней:

- Для широкополосного, постоянного нетонального шума:

$$L_{EX,sh} = L_{h,Aeq,Te} + 10 \lg \frac{T_e}{T_0} \quad (4)$$

и

$$L_{EX,sh} = 10 \lg \left[\frac{1}{c} \sum_{i=1}^n 110^{0,1(L_{EX,sh})^i} \right] \quad (5)$$

где: $L_{h,Aeq,Te}$ — эквивалентный уровень звука А за период Te ; Te — эффективное время рабочего дня; T_0 — номинальное время (8 час); n — общее количество дней в периоде для усреднения; c — количество рабочих дней в периоде для усреднения.

- Для импульсного/ударного шума (корректировка на эксцесс):

$$L'_{EX,sh} = L_{EX,sh} + 6,5 \lg \left(\frac{\beta_n}{\beta_g} \right) \quad (6),$$

где: β_n — величина эксцесса шума в течение рабочей смены; β_g — величина эксцесса постоянного шума ($\beta_g=3$).

Среднее значение измеренного эксцесса β (формула 1) вычисляется через каждые 60 с и используется в качестве эксцесса воздействия шума β_n :

$$\beta_n = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \beta_j \quad (7)$$

где: N — количество измерений эксцесса в течение воздействия.

Результаты исследования по определению оптимального алгоритма расчёта поправки на эксцесс для точной оценки потери слуха, вызванной как непрерывным, так и сложным шумом, позволили сделать вывод о необходимости учёта эксцесса с коэффициентом корректировки 6,5,

что позволяет более точно прогнозировать высокочастотные потери слуха в диапазоне от 70 до 95 дБА [29].

В проекте стандарта приведены следующие примеры величин эксцесса для различных технологических процессов и величин поправок на эксцесс для экспозиции сложного шума (таблица).

Таблица / Table

Значения поправок на эксцесс для экспозиции постоянного и непостоянного шума
Values of kurtosis corrections for constant and non-constant noise exposure

Значение эксцесса (β_n)	Примеры производств с высокими уровнями постоянного и непостоянного шума	Поправка на эксцесс для $L_{EX,sh}$, дБ
$3 \leq \beta_n < 10$	Ткачество, прядение, варка целлюлозы	0
$10 \leq \beta_n < 30$	Шлифование, штамповка, пробивка	5
$30 \leq \beta_n < 75$	Металлообработка, сверление	8
$75 \leq \beta_n < 200$	Литье, механическая обработка, сборка	10
$200 \leq \beta_n < 500$	Деревообработка, пистолет гвоздезабивной 1	13
$\beta_n \geq 500$	Пистолет гвоздезабивной 2	15

Особый интерес в проекте стандарта ISO 1999:2023 представляет метод расчёта постоянных смещений порогов слуха от воздействия шума, который существенно отличается от метода, описанного в действующем стандарте ISO 1999:2013.

В стандарте ISO 1999-2013 постоянный сдвиг порогов слуха (ΔN) на частотах 0,5, 1, 2, 3, 4, 6 кГц определяется по формуле с изменяющимися коэффициентами в зависимости от частоты, на которой определяются постоянные смещения порога слуха, стажа работы в шуму, уровня стажевой экспозиции шума и статистического распределения для процентилей популяции от $Q=5\%$ до $Q=95\%$.

В предлагаемом проекте стандарта ISO 1999:2023 основой для расчёта являются табличные данные постоянных смещений порогов слуха ($NIPTS$) на частотах 0,5, 1, 2, 3, 4, 6 кГц для стажевых экспозиций 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100 дБА, длительности стажа работы в шуму — 10, 20, 30 и 40 лет, процентилей популяции 5, 10, 25, 50, 75, 90, 95%.

Для расчёта данных промежуточных величин порогов слуха предлагается метод линейной интерполяции с ошибкой не более 0,25 дБ.

Особое внимание следует обратить на данные ненулевых смещений порогов слуха на частотах 3, 4 и 6 кГц в процентилях популяции 5 и 10%, для уровня стажевой экспозиции 70 дБА и стажа работы в шуму 10 лет.

В заключение следует отметить, что пересмотр стандарта ISO 1999:2013 с введением нового показателя временной структуры шума — эксцесса, косвенно отражающего распределение мгновенных величин звукового давления постоянного, непостоянного — импульсного шума и являющегося дополнительным, значимым фактором риска нарушения слуха, наряду с воздействующей экспозицией шума, позволит повысить точность метода прогноза потери слуха.

Список литературы (пп. 6–29 см. References)

1. Денисов Э.И. Шум на рабочем месте: ПДУ, оценка риска и прогнозирование потери слуха. *Анализ риска здоровья*. 2018; 3: 13–21.
2. Суворов Г.А., Шкаринов Л.Н., Денисов Э.И. *Гигиеническое нормирование производственных шумов и вибраций*. М.; Издательство медицина; 1984.
3. ГОСТ Р ИСО 1999–2017 (ISO 1999: 2013, IDT) Акустика. Оценка потери слуха вследствие воздействия шума. М.: Стандартинформ; 2017.
4. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и(или) безвредности для человека факторов среды обитания. <https://clck.ru/36KT3w> (дата обращения 04.10.2022).
5. Суворов Г.А., Лихницкий А.М. *Импульсный шум и его влияние на организм человека*. М.; 1975.
6. Alice H. Suter Occupational Hearing Loss from Non-Gaussian Noise Semin. *Hear*. 2017; 38(3): 225–262. <https://clck.ru/36KT27> (дата обращения 05.09.2023).
7. Price G.R., Kalb J.T. Insights into hazard from intense impulses from a mathematical model of the ear. *J Acoust Soc Am*. 1991; 90(01): 219–227.
8. Hamernik R.P., Patterson J.H., Ahroon W.A. *Use of Animal Test Data in the Development of a Human Auditory Hazard Criterion for Impulse Noise*. New York, NY: Auditory Research Laboratory, State University of New York; 1998. Final Report Part 1 and Part 2, submitted to Jaycor under subcontract agreement 950342.
9. U.S. Department of Defense (DOD). Design Criteria Standard — Noise limits. Washington, DC: Department of Defense; 2015. MIL-STD-1474E/.
10. Lei S.F., Ahroon W.A., Hamernik R.P. The application of frequency and time domain kurtosis to the assessment of hazardous noise exposures. *J Acoust Soc Am*. 1994; 96(03): 1435–1444.
11. Qiu W., Hamernik R.P., Davis R.I. The value of a kurtosis metric in estimating the hazard to hearing of complex industrial noise exposures. *J Acoust Soc Am*. 2013; 133(05): 2856–2866.
12. Henderson D., Hamernik R. *The use of kurtosis measurement in the assessment of potential noise trauma*. C.G. Le Prell, D. Henderson, R.R. Fay, A.N. Popper (Eds.), Noise-induced Hearing Loss: Scientific Advances, Springer, New York. 2012; 41–56.
13. Davis R.I., Qiu W., Heyer N.J., Zhao Y.M., Yang Q.L., Li N., Tao L.Y., Zhu L.L., Zeng L., Yao D.H. The use of the kurtosis metric in the evaluation of occupational hearing loss in workers in China: implications for hearing risk assessment. *Noise Health*. 2012; 14(61): 330–342.
14. Zhang M., Gao X., Qiu W., Sun X., Hu W. (2021a). The role of the kurtosis metric in evaluating the risk of occupational hearing loss associated with complex noise — Zhejiang Province, China. 2010–2019. *China CDC Weekly*. 3: 378–382.
15. J. Erdreich A distribution based definition of impulse noise. *J Acoust Soc Am*. 1986; 79(4): 990–8.
16. Qiu W., Zhang M., Hu W., Sun X. Application of the kurtosis metric to the assessment of hearing loss associated with occupational noise exposure. *China CDC Weekly*. 2021; 3: 390–393.
17. Qiu W., Murphy W.J., Suter A. Kurtosis: A new tool for noise analysis. *Acoust. Today*. 2020; 16(4): 39–47. <https://doi.org/10.1121/AT.2020.16.4.39> (дата обращения 11.09.2023).
18. Davis R.I., Qiu W., Hamernik R.P. Role of the kurtosis statistic in evaluating complex noise exposures for the protection of hearing. *Ear Hear*. 2009; 30(05): 628–634.
19. Zhang M., Qiu W., Xie H., Xu X., Shi Z., Gao X., Sun X. (2021b). Applying kurtosis as an indirect metric of noise temporal structure in the assessment of hearing loss associated with occupational complex noise exposure. *Ear Hear*. 42: 1782–1796.
20. Goley G.S., Song W.J., Kim J.H. Kurtosis corrected sound pressure level as a noise metric for risk assessment of occupational noises. *J. Acoust Soc Am*. 2011; 129(03): 1475–1481.
21. Flamme G., Murphy W.J. Brief high-level sounds. In: Meinke D.K., Berger E.H., eds. *The Noise Manual*, 6th ed. (in press). Fairfax, VA: American Industrial Hygiene Association Press.
22. Hamernik R.P., Qiu W. Energy-independent factors influencing noise-induced hearing loss in the chinchilla model. *J. Acoust. Soc. Am*. 2001; 110(06): 3163–3168.
23. Meibian Zhang, Yong Hu, Wei Qiu, Xiangjing Gao, Anke Zeng, Zhihao Shi, Jiarui Xin, Shixing BaiS, Xin Sun. Developing a guideline for measuring workplace non-Gaussian noise exposure based on kurtosis adjustment of noise level in China. 2022. <https://clck.ru/36KSCE> (дата обращения 09.09.2023).
24. Zhao Yi-Ming, Wei Qiu, Lin Zeng, Shan-Song Chen, Xiao-Ru Cheng, Davis R.I., Hamernik R.P. Application of the kurtosis statistic to the evaluation of the risk of hearing loss in workers exposed to high-level complex noise. *Ear and Hearing*. 2010; 31(04): 527–532.
25. Zhang M., Xie H., Zhou J., Sun X., Hu W., Zou H., Zhou L., Li J., Zhang M., Kardous C.A., Morata T.C., Murphy W.J., Zhang J.H., Qiu W. New metrics needed in the evaluation of hearing hazard associated with industrial noise exposure. *Ear and Hearing*. 2021b; 42(2): 290–300.
26. Xie H.W., Qiu W., Heyer N.J., et al. The use of the kurtosis-adjusted cumulative noise exposure metric in evaluating the hearing loss risk for complex noise. *Ear Hear*. 2016; 37(03): 312–323.
27. Jiarui X., Zhihao S., Peiyi Q., Shuangyan L., Yinzhong H., Xiangjin G., Lifang Z., Lei Z., Meibian Z. Effectiveness of kurtosis-adjusted cumulative noise exposure in assessing occupational hearing loss associated with complex noise. *Ear and Hearing*. 2023; 44(4): 865–876. <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000001327>
28. ISO/CD 1999:2023 Acoustics — Estimation of noise-induced hearing loss (проект).
29. Zhang Meibian, Gao Xiangjing, Murphy William J., Kardous Chucui A., Sun Xin, Hu Weijiang, Gong Wei, Li Jingsong, Qiu Wei. Estimation of Occupational Noise-Induced Hearing Loss Using Kurtosis-Adjusted Noise Exposure Levels. *Ear and Hearing*. 2022; 43(6): 1881–1892.