

А. А. Строкин

(МГТУ им. Н. Э. Баумана; e-mail: strokin.anatolij@yandex.ru)

ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКА УРОВНЕЙ ШУМА НА ПРОИЗВОДСТВЕ

Рассматривается способ экспресс-оценки производственного шума, позволяющий при известных шумовых характеристиках оборудования достаточно оперативно оценивать в типовых случаях шум на рабочих местах. Способ применим как для проектируемого, так и для действующего производства. При этом он, кроме нормативной оценки, позволяет находить варианты инженерных решений, обеспечивающих благоприятный акустический климат для различных типов производственных процессов.

Ключевые слова: производственный шум, уровень звука, эквивалентный уровень звука, экспресс-оценка.

Введение

Оценка шума на рабочих местах любого производственного процесса является необходимой процедурой при соответствующей санитарной оценке условий труда¹. Она проводится, как правило, при специальной оценке условий труда или при контрольных замерах шума, осуществляемых непосредственно службами самого производства, а также при разработке противошумных мероприятий [1, 2]. Обычно такой контроль осуществляется с помощью аппаратных измерений шумовых параметров на режимах работы оборудования, на которых по тем или иным соображениям следует ожидать наибольшего шума на рабочих местах [3, 4]. При этом весьма часто, ввиду трудоёмкости измерений, не учитывается всё разнообразие режимов работы оборудования, его количественные и временные шумовые показатели. Это снижает информационную ценность проводимых измерений для последующего анализа и выбора мероприятий по снижению шума. Целью таких контрольных измерений является, как правило, ответ на один, хотя и важный, вопрос – соответствует ли нормативным величинам шум на рабочих местах данного производства. При этом оборудование уже смонтировано, производство работает и осуществление каких-либо мероприятий по снижению шума в соответствующих контрольных точках производства при недостаточной информативности результатов измерений существенно усложняет поиск решений для этой весьма важной производственной задачи.

С другой стороны, предварительная оценка ожидаемого шума расчётным путём значительно расширяет возможности нахождения таких решений, позволяющих в итоге обеспечить благоприятный акустический климат на производстве. При этом более обосновано могут быть выбраны режимы работы оборудования, само оборудование и средства защиты от шума как на уже действующем производстве, так и на стадии его проектирования.

¹ Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. № 426-ФЗ "О специальной оценке условий труда"

Обсуждение методики экспресс-оценки шума и типовых случаев её применения

В настоящей работе рассматриваются достаточно типовые производственные разновидности непостоянного шума. Это флуктуирующий или, по другой часто употребляемой терминологии, – "ступенчато изменяющийся шум", характер которого представлен на рис. 1. При этом в данной работе предполагается (и это, как правило, имеет место на производстве), что на одном постоянном режиме работы шум остаётся постоянным, то есть значения уровня звука $L_{p,Ai}$ источника на временном участке измерения T_i не отличаются друг от друга более, чем на 5 дБА (см. рис. 1). Кроме того, также предполагается, что уровень звука любого работающего источника превышает уровень фонового шума на 10 и более дБА. Это допущение также является справедливым для многих практических случаев.

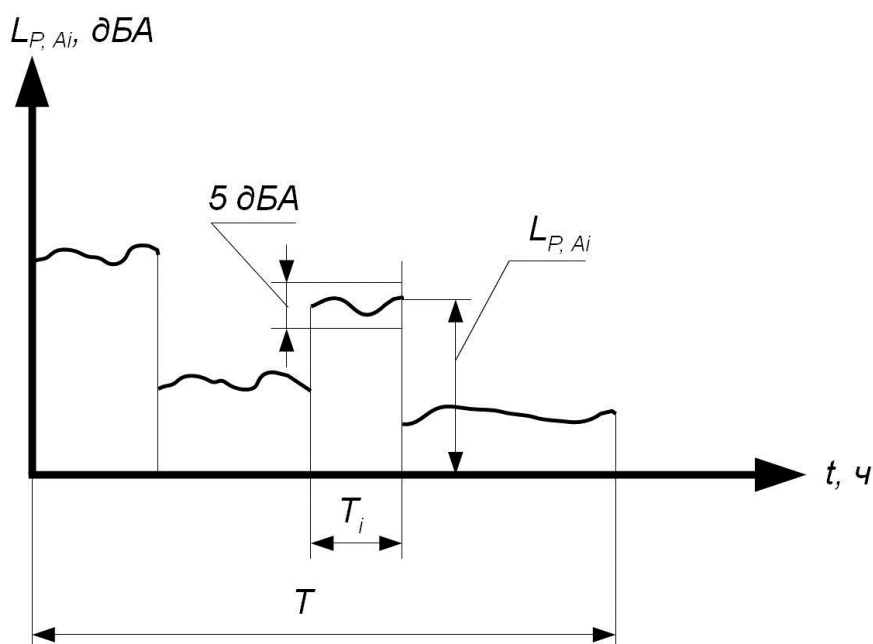


Рис. 1. Пример непостоянного флуктуирующего шума

Оценка непостоянного шума на рабочем месте проводится по эквивалентному уровню звука $L_{p,A,eq,T}$, который определяется по формуле:

$$L_{p,A,eq,T} = 10 \lg\left(\frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{p_A(t)}{p_0}\right)^2 dt\right), \quad (1)$$

который необходимо сравнить с допустимым уровнем звука $L_{p,АДоп}$. При этом должно быть, чтобы:

$$L_{p,АДоп} \geq L_{p,A,eq,T}, \quad (2)$$

где $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Па}$ – опорное значение звукового давления;

p_A – условное скорректированное по кривой коррекции "А" звуковое давление, производящее на измерительном временном участке T такое же ощущение шумности, что и реальный непостоянный шум на том же временном участке. В дальнейших рассуждениях в настоящей статье будем считать время T равным 8-ми часовому рабочему дню.

Поскольку рассматриваемый случай (см. различные уровни звука, которые имеют место в течение 8-ми часового рабочего дня на рис. 1) представляет из себя ступенчато изменяющийся непостоянный шум, в окончательной интегральной оценке следует учесть все уровни звука, воздействующие на работающего в течение рабочего дня, так как шум имеет свойство "накапливаться" в организме в течение времени своего воздействия. Однако, разные уровни (разные по энергии) будут вносить разный энергетический вклад в общую суммарную величину и при этом ещё и с учётом собственного относительного временного воздействия T_i по отношению к общему времени воздействия T . Таким образом, эквивалентный уровень звука $L_{p,A,eq,T}$ за рабочую смену может быть определён логарифмическим (энергетическим) суммированием уровней звука на отдельных временных i -х участках $L_{p,Ai}$ с учётом их относительного временного воздействия:

$$L_{p,A,eq,T} \approx 10 \lg \sum_1^n \left(\frac{T_i}{T}\right) 10^{0,1L_{p,Ai}}. \quad (3)$$

Для практических задач, в том числе рассматриваемых в данной статье, эта приближенная формула определения эквивалентного уровня звука является более удобной, нежели приведённая выше формула (1). При этом она наглядно отображает физиологическую сущность формирования эквивалентных уровней звука, в которых участвуют как сами величины уровней звука, воздействующие на человека, так и относительное время их воздействия.

Возвращаясь к выше изложенным допущениям, будем рассматривать два типа уровней звука: создаваемых непосредственно оборудованием – $L_{p,АПi}$ и фоновым шумом – $L_{p,АФi}$ (индекс "П" означает слово "Пуск" и, соответственно, "Ф" – "Фон"). Соответствующие временные отрезки обозначим T_{Pi} и T_{Fi} . Тогда формулу (3) можно представить в виде двух членов под знаком суммы:

$$L_{p,A,eq,T} \approx 10 \lg \sum_1^n \left[\left(\frac{T_{Pi}}{T}\right) 10^{0,1L_{p,АПi}} + \left(\frac{T_{Fi}}{T}\right) 10^{0,1L_{p,АФi}} \right]. \quad (4)$$

Считая, что $L_{p,АПi} \gg L_{p,АФi}$ (не менее, чем на 10 дБА), вторым членом под знаком суммы в оценочных расчётах можно пренебречь. Тогда формула (4) примет вид:

$$L_{p,A,eq,T} \approx 10 \lg \sum_1^n \left(\frac{T_{Pi}}{T}\right) 10^{0,1L_{p,АПi}}. \quad (5)$$

Более того, можно считать, что одинаковое оборудование, работая на одном режиме, генерирует одинаковые уровни звука и если при этом можно также допустить, что режимы пусков имеют одинаковую длительность, то есть $L_{p,АПi} = L_{p,АП}$ и $T_{Pi} = T_P$, то эквивалентный уровень звука будет зависеть только от числа пусков n , их длительности T_P и уровня звука режима работы $L_{p,АП}$. При этом $L_{p,АП}$ может являться одновременно паспортной характеристикой, в том числе учитывающей усредненные значения направленности шума оборудования [5,6]. В частности, когда рабочее место жёстко привязано к работающему оборудованию, например, в случае ручного инструмента, малогабаритной техники, в случае различных видов транспортного шума и т. д. В прочих случаях этот параметр может быть предварительно определён на основании паспортных характеристик оборудования и условий его эксплуатации. Соответственно,

сумма в формуле (5) может быть заменена произведением n одинаковых слагаемых и примет вид:

$$L_{p,A,eq,T} \approx L_{p,АП} + 10 \lg n + 10 \lg\left(\frac{T_{II}}{T}\right) \quad (6)$$

Эта формула достаточно удобна для проведения акустического экспресс-анализа различных производственных случаев.

Примеры применения экспресс-расчётов и анализа полученных данных

Рассмотрим применение метода экспресс-оценки на следующих (хотя и несколько условных) примерах.

Пример 1. Пусть в вычислительном производственном центре за 8-ми часовой рабочий день дважды включается вентустановка, создающая на рабочих местах шум, равный $L_{p,АП} = 50$ дБА. В остальное время шумовой фон составляет 30 дБА. Время одноразового включения вентустановки T_{II} равно одному часу. В качестве допустимого уровня звука $L_{p,АДОП}$ на рабочем месте принять уровень, равный 40 дБА (рис. 2).

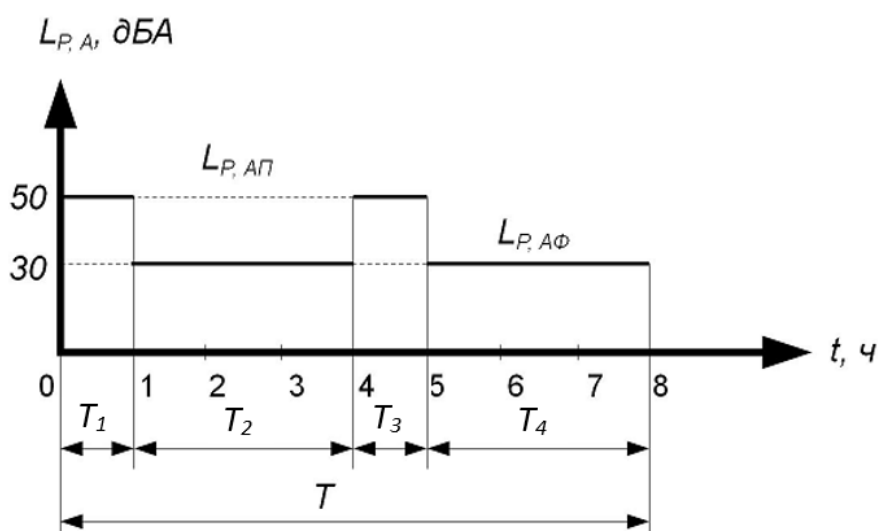


Рис. 2. Диаграмма шумовых режимов в вычислительном центре:

$$T_1 = T_{II}; \quad T_2 = T_{\Phi}; \quad T_3 = T_{II}; \quad T_4 = T_{\Phi}$$

Исходя из условия задачи, вентустановка за $T = 8$ ч работает дважды ($n = 2$) по одному часу ($T_{II} = 1$ ч) с уровнем звука $L_{p,АП} = 50$ дБА, который превышает фоновый уровень $L_{p,АФ}$ (30 дБА) на 20 дБА. При этом общее фоновое время $T_{\Phi} = 2 \cdot 3 = 6$ ч. Используя экспресс-формулу (6) и пренебрегая её фоновыми членами, имеем:

$$\begin{aligned} L_{p,A,eq,T} &\approx L_{p,АП} + 10 \lg\left(\frac{T_{II}}{T}\right) + 10 \lg n = \\ &= 50 + 10 \lg(1/8) + 10 \lg 2 \approx 44 \text{ дБА.} \end{aligned}$$

Если учесть все участки шумового воздействия, включая фоновые уровни, следует воспользоваться формулой (4), считая, что $n = 2$; $L_{p,A\Pi} = L_{p,A\Pi} = 50$ дБА; $T_{\Pi} = T_{\Pi} = 1$ ч; $L_{p,A\Phi i} = L_{p,A\Phi} = 30$ дБА; $T_{\Phi i} = T_{\Phi} = 3$ ч (рис. 2). Тогда:

$$L_{p,A,eq,T} \approx 10 \lg[(2^{T_{\Pi}/T})10^{0,1L_{p,A\Pi}} + (2^{T_{\Phi}/T})10^{0,1L_{p,A\Phi}}] = \\ = 10 \lg[(2/8)10^{0,1 \cdot 50} + (6/8)10^{0,1 \cdot 30}] \approx 44,1 \text{ дБА}.$$

Таким образом, расчёт по приближённой экспресс-формуле (6), по сравнению с более точной формулой (4) при указанных выше допущениях, даёт незначительное расхождение. Однако формулу (4) всё же удобно использовать для приближённой оценки в случае, когда $L_{p,A\Pi} \neq \text{const}$, то есть, когда имеются разные режимы работы оборудования. При этом, по-прежнему следует иметь в виду, что формула (4) значительно упрощается и переходит в формулу (5), когда можно пренебречь фоновыми режимами.

Следует отметить, что классическая методика² расчётов для данной (или подобной) задачи требует перед сложением уровней звука, имеющих место на отдельных временных участках, внести соответствующие поправки в их значения. Это усложняет быструю оценку ожидаемого эквивалентного шума, особенно когда увеличивается число участков с различными режимами, да и сами значения поправок не всегда есть у инженера под рукой.

В рассматриваемом случае имеются следующие исходные значения (рис. 2): $L_{p,A1} = 50$ дБА и $T_1 = 1$ ч; $L_{p,A2} = 30$ дБА и $T_2 = 3$ ч; $L_{p,A3} = 50$ дБА и $T_3 = 1$ ч; $L_{p,A4} = 30$ дБА и $T_4 = 3$ ч. Соответствующие поправки к уровням с учётом времени воздействия: для $T = 1$ ч – "-9 дБА"; $T = 3$ ч – "-4,2 дБА"; а соответствующие уровни звука с учётом поправок: $L_{p,A1}^{\Sigma} = 50 - 9 = 41$ дБА; $L_{p,A2}^{\Sigma} = 30 - 4,2 = 25,8$ дБА; $L_{p,A3}^{\Sigma} = 50 - 9 = 41$ дБА; $L_{p,A4}^{\Sigma} = 30 - 4,2 = 25,8$ дБА. Сложение этих уровней с использованием номограммы или формулы логарифмического (энергетического) суммирования² даст приблизительно для итогового эквивалентного уровня звука следующий результат: $L_{p,A,eq,T} \approx 44,2$ дБА. Таким образом, расчёт по "классической" методике даёт практически те же результаты, что и формула (6), хотя он менее удобен, особенно в случае необходимости быстрого акустического экспресс-анализа на различных режимах работы оборудования.

Следует также отметить, что все вышеприведённые расчёты показали, что эквивалентный шум превышает заданную нормативную величину, то есть нарушается неравенство (2) и необходимо снизить шум вентиляторной установки как минимум на 4,2 дБА или изменить (уменьшить) время проветривания помещения. Снизить шум вентустановки до 45,0 дБА (то есть на 5,0 дБА) можно, например, с использованием трубчатого или пластинчатого глушителя. Это возможно даже при небольших габаритах глушителей и, как правило, не составляет труда.

² Р 2.2.2006-05. Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. Приложение 11. С. 84-85

Проверка по формуле (6) для глушителя с такими параметрами и тех же режимов работы даст следующий прогноз:

$L_{p,A,eq,T} = 45 - 9 + 3 = 39$ дБА, что уже удовлетворяет заданным нормативным требованиям и этот вариант для данного вычислительного центра может быть принят к рассмотрению.

Пример 2. Оценить, сколько деревьев может спилить рабочий без нарушения санитарных норм по шуму, если уровень звука, создаваемый бензопилой, составляет $L_{p,A} = 90$ дБА. Решить ту же задачу при условии, что рабочий работает в наушниках, эффективность которых составляет $\Delta L_{p,АН} = 10$ дБА.

Следует отметить, что шум $L_{p,A} = 90$ дБА, создаваемый бензопилой, является её паспортной шумовой характеристикой. Считается, что именно такой уровень звука создаётся в области головы лесоруба.

Один запил условно длится в течение $T_{\Pi} = 1/125$ ч, на одно дерево уходит три запила, сделанные подряд без перерыва, рабочий день составляет $T = 8$ часов. Нормативное значение уровня звука $L_{p,АДОН} = 80$ дБА; шум фона ниже шума запила на 30 дБА. Характер шума считать ступенчатым.

Рассмотрим вначале вариант без наушников. Для этого воспользуемся формулой (6). В ней итоговый эквивалентный уровень звука $L_{p,A,eq,T}$ не должен превышать допустимого уровня звука 80 дБА, относительные временные затраты на одно дерево составляют $3T_{\Pi}/T$, где $T_{\Pi} = 1/125$ ч, n – искомое число деревьев, $T = 8$ ч, $L_{p,АН} = 90$ дБА. Таким образом:

$L_{p,A,eq,T} = 90 + 10 \lg n + 10 \lg \frac{3}{125} \frac{1}{8} = 80$. Откуда, практически устным (принимая во внимание, что $\lg 3 \approx 0,5$) вычислением получаем, что рабочий без нарушения санитарных норм может спилить без средств защиты от шума за 8-ми часовой рабочий день лишь 33 дерева ($n \approx 33$).

Рассмотрим вариант с наушниками. Они снижают значение паспортной характеристики $L_{p,АН} = 90$ дБА на 10 дБА. Подставляя соответствующие численные значения в уравнение (6), получаем: $90 - 10 + 10 \lg n + 10 \lg \frac{3}{125} \frac{1}{8} = 80$. Откуда $n \approx 333$ деревьям. Любопытно, если исходить из условия задачи, то рабочий, затрачивая на одно дерево время $T_1 = 3/125$ ч, за 8-ми часовой рабочий день, работая непрерывно, может физически (а не из условий санитарных норм по шуму) спилить следующее число n_1 деревьев: $n_1 = T / T_1 = 8 * 125/3 \approx 333$, что, естественно, нереально.

Таким образом, исходя из условий рассматриваемой задачи для обеспечения норм по шуму для 8-ми часового рабочего дня в данном случае достаточно обеспечить снижение шума на 10 дБА. Это может быть достигнуто либо применением индивидуальных средств защиты, либо заменой оборудования (пилы) на менее шумное, либо изменением временных режимов труда.

Заключение

Рассмотренная в настоящей работе экспресс-оценка шума на рабочих местах позволяет при простых допущениях в ряде типовых производственных случаях оперативно и достаточно обоснованно находить практические решения по улучшению акустического климата для различных технологических цепочек.

Литература

1. Белов С. В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность): учебник для академического бакалавриата. М.: изд-во Юрайт, 2017. 702 с.
2. Готлиб Я. Г., Алимов Н. П. О контроле параметров шума при специальной оценке условий труда // Охрана и экономика труда. 2015. № 2. С. 30-33.
3. Готлиб Я. Г., Алимов Н. П. О роли средств индивидуальной защиты органа слуха от вредного воздействия производственного шума при специальной оценке условий труда // Безопасность в техносфере. 2015. Т. 4. № 2. С. 40-47. DOI: 10.12737/11332.
4. Алимов Н. П., Готлиб Я. Г. К вопросу допустимых значений уровней шума и вибрации при проведении аттестации рабочих мест // Охрана и экономика труда. 2013. № 1 (10). С. 23-28.
5. Строкин А. А. К вопросу о выборе метода измерения шумовых характеристик при проведении НИОКР по разработке малозумного оборудования в производственных условиях // Грузовик. 2015. № 3. С. 41-48.
6. Строкин А. А. Факторы учёта характеристик направленности шума при разработке машин // Технологии техносферной безопасности. 2017. Вып. 3 (73). С. 242-248. <http://academygps.ru/ttb>.

Материал поступил в редакцию 21 февраля 2019 г.

Для цитирования: Строкин А. А. Экспресс-оценка уровней шума на производстве // Технологии техносферной безопасности. – Вып. 3 (85). – 2019. – С. 37-44. DOI: 10.25257/TTS.2019.3.85.37-44.

A. A. Strokin

RAPID ASSESSMENT OF NOISE LEVELS IN THE WORKPLACE

In this paper we consider a method of rapid assessment of industrial noise, allowing assess the noise in the workplace for a wide range of processes at known passport noise characteristics of the equipment in typical cases quickly enough. Sanitary assessment of acoustic working conditions is a necessary procedure for almost any production. However, the goal of this work was also to find rational solutions that could ensure compliance of the considered industrial noise with the current sanitary standards, in addition to providing this important task. This express method is applicable for both existing and planned production. It is important that in the latter case, a preliminary estimate of the expected noise by an express-calculated way greatly simplifies and expands the possibilities of finding solutions that ultimately ensure a favorable acoustic climate in the workplace. At the same time, the operating modes of the equipment, the equipment itself and the corresponding noise protection means can be more reasonably chosen. The work provides some examples of such a rapid assessment.

Key words: industrial noise, sound level, equivalent sound level, express assessment.

References

1. Belov S. V. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti i zashchita okruzhayushchej sredy (tekhnosfernaya bezopasnost')*: uchebnik dlya akademicheskogo bakalavriata [The life safety and protection of the environment (technosphere safety): a textbook for undergraduate academic]. Moscow, Yurayt Publ., 2017, 702 p.
2. Gotlib Ya. G., Alimov N. P. About control of parameters of noise at the special assessment of working conditions. *Ohrana i ehkonomika truda / Protection and economy of labor*, 2015, no. 2, pp. 30-33 (in Russian).
3. Gotlib Ya. G., Alimov N. P. About the role of personal hearing protection from harmful effects of industrial noise in special assessment of working condition. *Bezopasnost' v tekhnosfere / Safety in Technosphere*, 2015, vol. 4, no. 2, pp. 40-47. DOI: 10.12737/11332 (in Russian).
4. Alimov N. P., Gotlib Ya. G. To the question of permissible values of noise and vibration levels during the certification of workplaces. *Ohrana i ehkonomika truda / Labor Protection and Economics*, 2013. no. 1 (10), pp. 23-28 (in Russian).
5. Strokin A. A. On the selection of the method of measuring the noise characteristics in conducting research and development of low-noise equipment in the production environment. *Gruzovik / Truck*, 2015, no. 3, pp. 41-48 (in Russian).
6. Strokin A. A. Factors of account of characteristics of an orientation of noise during developing machines. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti / Technology of technosphere safety*, vol. 2 (54), 2017, pp. 242-248. Available at: <http://academygps.ru/ttb> (in Russian).

For citation: Strokin A. A. Rapid assessment of noise levels in the workplace. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti / Technology of technosphere safety*, vol. 3 (85), 2019, pp. 37-44 (in Russian). DOI: 10.25257/TTS.2019.3.85.37-44.