

Министерство образования и науки Российской Федерации

Московский Государственный Технический Университет
имени Н.Э.Баумана

Кафедра Технологии обработки материалов

**ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА
ПО ПАРАМЕТРАМ ШУМА
(на примере токарного станка)**

Методические указания
к лабораторной работе по курсу
«Оценка остаточного ресурса»

Составил доцент, к.т.н. Самойлов В.Б.

Москва
2019

1. Краткие теоретические сведения

Основные параметры шума

Параметром, определяющим количественную оценку «шумности» какого-либо источника, является его акустическая мощность – полная звуковая энергия, излучаемая этим источником в окружающее пространство за единицу времени. Акустическая мощность характеризует только свойство источника шума и не зависит от условия распространения звуковых волн.

Как известно, шум представляет собой в большинстве случаев беспорядочное сочетание большого числа одновременно происходящих колебательных движений простой (синусоидальной) формы, отличающихся друг от друга периодами колебаний и величинами колебательных смещений. Совокупность этих движений может быть представлена графиком частотно-амплитудных значений или частотным спектром шума.

Так как от характера распределения звуковой энергии в спектре зависит физиологическое воздействие шума на высшую нервную деятельность человеческого организма, то его принимают за основу при разработке нормативов предельных допустимых уровней интенсивности шума.

Акустическая мощность ω (Вт), излучаемая источником звука равномерно во всех направлениях, определяется по следующей формуле:

$$\omega = 4 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot V^2 \cdot \rho \cdot c, \quad (1)$$

где r – радиус воображаемой сферы, в центре которой находится источник звука;

V – колебательная скорость частиц среды, в которой происходят колебания;

ρ – плотность среды;

c – скорость распространения звука в данной среде.

При колебании частиц среды в ней развивается переменное давление, называемое звуковым давлением, которое прямо пропорционально скорости колебаний частиц среды

$$p = \rho \cdot c \cdot V, \quad (2)$$

где p – звуковое давление, выраженное в Н/м^2 , дин/см^2 или в барах (1 бар примерно соответствует одной миллионной части атмосферного давления).

Коэффициентом пропорциональности в данном случае будет величина $\rho \cdot c$ – произведение плотности среды на скорость звука в ней, называемая удельным акустическим или волновым сопротивлением.

Звуковое давление может быть непосредственно измерено имеющимися в настоящее время приборами для объективного измерения шума. Звуковое давление – величина векторная и без указания направления теряет смысл. Заменив в формуле (1) выражение $V^2 \cdot \rho \cdot c$ на $V \rho$ в соответствии с формулой (2), увидим, что звуковое давление изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния между источником и приемником звука. Это справедливо только в случае свободного акустического поля, т. е. измерения в условиях открытого пространства.

Для общего случая плоских или сферических звуковых волн, распространяющихся в свободном звуковом поле, отношение квадрата звукового давления к величине волнового сопротивления определяет интенсивность звука (I), т. е.

$$I = \frac{p^2}{\rho \cdot c} (\text{Н}^2 / \text{м}^4).$$

Интенсивность, или сила звука (Вт/см^2), определяется потоком звуковой энергии, проходящим за 1 с через 1 см^2 плоскости, расположенной перпендикулярно направлению потока.

Обычно для оценки интенсивности шума используют относительные логарифмические единицы – децибелы. В децибелах определяется в логарифмическом масштабе отношение интенсивностей или звуковых давлений двух звуков или шумов, т. е. уровень интенсивности одного из звуков по отношению к интенсивности другого.

Уровень интенсивности звука (β) в децибелах вычисляют по формуле:

$$\beta = 10 \lg \frac{I}{I_0}.$$

Так как интенсивность звука пропорциональна квадрату амплитуды звукового давления, то уровень интенсивности может быть также определен из следующей формулы:

$$\beta = 20 \lg \frac{P}{P_0}.$$

Для установления логарифмического масштаба силы звука в качестве постоянной исходной величины за нулевой уровень шкалы условно приняты интенсивность звука $I = 10^{-16}$ Вт/см² или звуковое давление $p_0 = 2 \cdot 10^{-4}$ дин/см², т. е. значения, соответствующие «порогу слышимости» звука «чистого тона» частотой 1000 Гц. При этом условия уровни интенсивности звука или звукового давления называются абсолютными уровнями, так как они определяют абсолютное значение величин I_0 и p_0 .

Интенсивность звука, так же как и звуковое давление, величина векторная. Обычно ее определяют в направлении распространения волн.

В свободном акустическом поле (при отсутствии ограждений) интенсивность звука связана с акустической мощностью источника, равномерно излучающего звук во все стороны, следующим отношением:

$$I = \frac{\omega}{4 \cdot \pi \cdot r^2},$$

где $4 \cdot \pi \cdot r^2$ – площадь сферы, радиус которой равен расстоянию от точки измерения до источника шума.

Интенсивность колебаний может быть определена величиной колебательного перемещения, колебательной скорости или колебательного ускорения. Интенсивность колебаний источника звука связана с восприятием громкости.

Условия, необходимые для проведения испытаний станков на шум

Измерять уровень шума станков с достаточной достоверностью можно в обычных помещениях сравнительно большого объема при условии, что проникающий в них посторонний шум (помеха) слабее

суммарного шума (т. е. шума станка и помехи) не менее чем на 10 дБ как по общему уровню, так и по уровням отдельных составляющих частотного спектра в рабочем диапазоне частот. Если уровень помех превышает указанный выше, то в результаты измерений шума нужно вносить поправки в соответствии с приведенными ниже данными (табл. 1).

Таблица 1

$\beta_{\Sigma} - \beta_2$	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	7	8	9	10
$-\Delta\beta_1$	6,9	5,3	4,3	3,6	3	2,6	2,2	1,9	1,7	1,4	1,3	1	0,7	0,6	0,5

Здесь $(\beta_{\Sigma} - \beta_2)$ – разница между показаниями шумомера при включенном и выключенном испытуемом станке, а $\Delta\beta_1$ – величина, которую следует вычитать из суммарного уровня шума.

Пример. Уровень шума станка, измеренный в механическом цехе при установке измерительного микрофона в определенной точке на «рабочем месте», равен 87 дБ. Уровень шумов, измеренный в той же точке при выключении станка, составил 80 дБ. Требуется определить истинный уровень шума станка.

Разность суммарного уровня и уровня помех составляет $87 - 80 = 7$ дБ, чему соответствует $\Delta\beta_1 = 1$ дБ. Вычитая из суммарного уровня эту поправку, находим искомый уровень шума станка: $87 - 1 = 86$ дБ, т. е. тот уровень, который был бы зарегистрирован шумомером, если бы в цехе не было мешающих шумов, а работал бы только испытываемый станок.

Таким же способом уточняют и спектр шума, измеренный при наличии помех. В этом случае нужно измерить также спектр мешающего шума и внутри каждой полосы пропускания анализатора произвести вычитание уровней.

Общий уровень и частотный спектр шума станка измеряют при работе его на холостом ходу на тех числах оборотов шпинделя, при которых отмечается наибольший уровень шума. Микрофон располагают на рабочем месте у станка на высоте 1,5 м над уровнем пола. При наличии у станка нескольких рабочих мест шум измеряют на каждом из них и за конечный результат принимают измерения, показавшие максимальные уровни. При наличии в станке агрегатов или узлов, являющихся самостоятельными источниками интенсивного шума,

производят дополнительные измерения при расположении микрофона вблизи этих источников на указанных выше расстояниях.

При испытаниях станок устанавливается на упругих амортизаторах (виброизоляторах), исключающих передачу его вибраций фундаменту или перекрытию.

Как правило, подавляющая часть акустических исследований проводится в акустических необорудованных помещениях, вследствие чего при измерениях встречаются с затруднениями, связанными с искажающим воздействием помещения на звуковое поле источника звука. Это воздействие обусловлено влиянием возникающих в помещении волн, отраженных от стен, пола и потолка. Отраженные волны, накладываясь на прямые волны, исходящие от источника звука, создают сложное звуковое поле, затрудняющее оценку измеряемого звукового давления.

Для устранения влияния отраженных волн следует помещать приемник звука (измерительный микрофон) настолько близко к источнику, чтобы действие прямой волны значительно превосходило действие отраженных волн. При этом необходимо соблюдать известную предосторожность, так как звуковое поле в непосредственной близости от источника не является однородным. Здесь могут возникать узлы и пучности, обусловленные интерференцией волн, излучаемых каждым элементом поверхности излучателя звука.

Для устранения влияния интерференционных явлений следует располагать приемник звука от источника на расстоянии не меньшем r_0^2 / λ , где r_0 – радиус излучателя, λ – длина волны. В соответствии с рекомендациями ЭНИМС это расстояние для станков средних размеров принято равным 0,5 м от наружных излучающих поверхностей станка, что позволяет получать устойчивые результаты измерений при частотах свыше 100 Гц.

Для уменьшения отрицательного воздействия отраженной звуковой энергии в помещении, где проводятся измерения, необходимо обеспечить суммарное звукопоглощение таким образом, чтобы на расстоянии 0,5 м от излучающей поверхности станка уровень отраженной энергии был бы на 10 дБ ниже уровня энергии прямой вол-

ны. Это достигается соответствующей акустической обработкой основных отражающих поверхностей помещения.

В качестве числовой характеристики акустических свойств помещения можно использовать акустическую постоянную помещения R , которую определяют по формуле:

$$R = \frac{S \cdot \alpha}{1 - \alpha},$$

где S – общая площадь внутренних поверхностей помещения, м^2 ; α – средний коэффициент звукопоглощения поверхностей помещения на частоте 500 Гц, определяемый по следующей формуле:

$$\alpha = \frac{S_1 \alpha_1 + S_2 \alpha_2 + \dots + S_n \alpha_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n},$$

где $S_1, S_2 \dots S_n$ – площади поверхностей с данными коэффициентами звукопоглощения;

$\alpha_1, \alpha_2 \dots \alpha_n$ – коэффициенты звукопоглощения данного материала на частоте 500 Гц, (см. ниже).

Коэффициенты звукопоглощения некоторых материалов
и конструкций при частоте звука 500 Гц

Стена бетонная или железобетонная, неокрашенная	0,016
То же, окрашенная	0,010
Стена кирпичная неоштукатуренная	0,031
То же, оштукатуренная и окрашенная	0,017
Штукатурка известковая, песочная, на металл. обрешетке	0,060
Плита штукатурная (сухая штукатурка)	0,060
Окна застекленные нормальных размеров	0,18
Деревянные бруски	0,10
Линолеум толщиной 5 мм	0,03
Резина толщиной 5 мм	0,08
Древесно-волокнистые плиты типа «оргалит» толщиной 11 мм, объемным весом 200 – 250 кг/м ³ вплотную к стене	0,28
То же, с откосом от стены на 50 мм	0,34
Войлок строительный толщиной 12,5 мм	0,17
То же, толщиной 25 мм	0,54
Стекловолок толщиной 30 мм, объемным весом 140 кг/м ³	0,36

Минеральная вата толщиной 100 мм, объемным весом 190 кг/м³ 0,59

Пример расчета акустической постоянной R (для частоты звука 500 Гц).

Размер помещения 20×30×15 м. Стены и потолок оштукатурены, пол бетонный. Коэффициенты звукового поглощения и площади отражающих поверхностей: стен $\alpha_1 = 0,06$; $S_1 = 1500 \text{ м}^2$; потолка $\alpha_2 = 0,06$; $S_2 = 600 \text{ м}^2$; пола $\alpha_3 = 0,0146$; $S_3 = 600 \text{ м}^2$.

Средний коэффициент звукопоглощения

$$\alpha = \frac{S_1\alpha_1 + S_2\alpha_2 + S_3\alpha_3}{S_1 + S_2 + S_3} = \frac{1500 \cdot 0,06 + 600 \cdot 0,016 + 600 \cdot 0,016}{1500 + 600 + 600} = 0,05.$$

Акустическая постоянная

$$R = \frac{\Sigma S\alpha}{\alpha - 1} = \frac{(1500 + 600 + 600) \cdot 0,05}{1 - 0,05} = 142 \text{ м}^2.$$

3. Цель работы

Ознакомиться с существующими методами и средствами измерения шума технологического оборудования, методами выполнения проверок, наиболее распространенными контрольно-измерительными устройствами и установить остаточный ресурс по шуму путем сравнения фактических замеров с заданными в НТД.

4. Методика испытания станков на шум

Перед началом измерений следует убедиться в отсутствии в помещении, где проводится испытание на шум, «стоячих волн», являющихся результатом отражения звуковых волн от стен, потолка и пола помещения. Для этого помещают в том месте, где будет находиться проверяемый станок, какой-либо источник интенсивного шума и измеряют его уровень, устанавливая микрофон в различных точках вокруг этого источника. При наличии «стоячих волн» в некоторых точках микрофон будет отмечать резкое снижение уровня звука («мертвые точки»), в то время как в точках, расположенных рядом, уровень звука будет достаточно высоким. В дальнейшем при измерениях следует избегать установки микрофона в указанных «мерт-

вых точках». Отсутствие «стоячих волн» может быть практически определено следующим образом: микрофон устанавливают на определенном расстоянии от источника шума; при удалении его от источника шума на расстояние вдвое большее уровень шума должен уменьшиться на 4 – 6 дБ.

В зависимости от целей, которые преследуются при измерении шума, микрофон устанавливают в одной или нескольких точках, расположенных равномерно вокруг станка (рис. 1).

При нормативных измерениях, т. е. когда хотят проверить соответствие уровня шума станка определенной норме, микрофон устанавливают на рабочем месте на расстоянии 0,5 м от станка и на высоте 1,5 м от пола.

Как было сказано выше, при наличии в станке агрегатов или узлов, являющихся самостоятельными источниками интенсивного (гидравлических установок, электрических преобразователей и т.п.), дополнительно измеряют уровни шума при установке микрофона вблизи этих источников на указанных выше расстояниях.

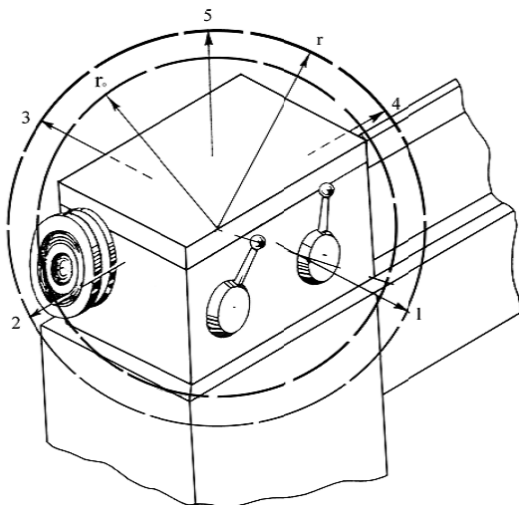


Рис. 1. Примерное расположение точек измерения при определении акустической мощности шпиндельной бабки токарного станка: 1-5 – точки измерений, r_0 – радиус сферы, описанной вокруг источника шума.

ма; r - радиус сферы, на поверхности которой расположены точки измерений.

Уровни шума измеряют при работе станка на холостом ходу при последовательном включении всех ступеней чисел оборотов привода главного движения и величин подач. Результаты измерений уровней для всех ступеней записывают в протокол испытаний.

На основании полученных результатов выбирают число оборотов привода главного движения, величины подач и т.п., при которых наблюдался максимальный уровень шума. При этих значениях производится частотный анализ данного шума.

При выборе указанных параметров следует учитывать особенности конструкции привода главного движения и коробки подач, в которых может быть один или несколько переборов или соединительных муфт, включающих последовательно отдельные участки кинематической цепи этих узлов. В таких случаях частотный спектр снимается также при тех числах оборотов, которые соответствуют работе этих участков кинематической цепи исследуемого привода и при которых наблюдается максимальный для данной группы чисел оборотов уровень шума. При наличии в станке нескольких узлов, являющихся источниками интенсивного излучения, а также для удобства выявления таких источников рекомендуется при испытании станка на шум проверять отдельные узлы станка путем отключения всех остальных или части узлов разобщением муфт, зубчатых колес и т.п.

5. Оборудование и оснастка

За объект для экспериментальных исследований в лабораторной работе принят токарно-винторезный станок модели 16К20 нормального класса точности с основным размерным параметром 400 мм и наибольшей длиной обрабатываемого изделия 1000 мм.

На рис.2 показано примерное расположение шумомера на штативе около объекта исследования в лаборатории резания кафедры.

Для измерения уровня шума применяют преимущественно объективные шумомеры, которые состоят из измерительного микрофона, воспринимающего шум и преобразующего акустические колебания в электрические, микроконтроллера и ЖК панели отображения информации.



Рис.2 Измерение уровня шума

Большинство шумомеров выпускается с тремя частотными контурами, чтобы по возможности точнее воспроизвести характеристики человеческого уха, которые криволинейны, причем форма их плавно изменяется с увеличением силы воспринимаемых ухом звуков (рис.3).

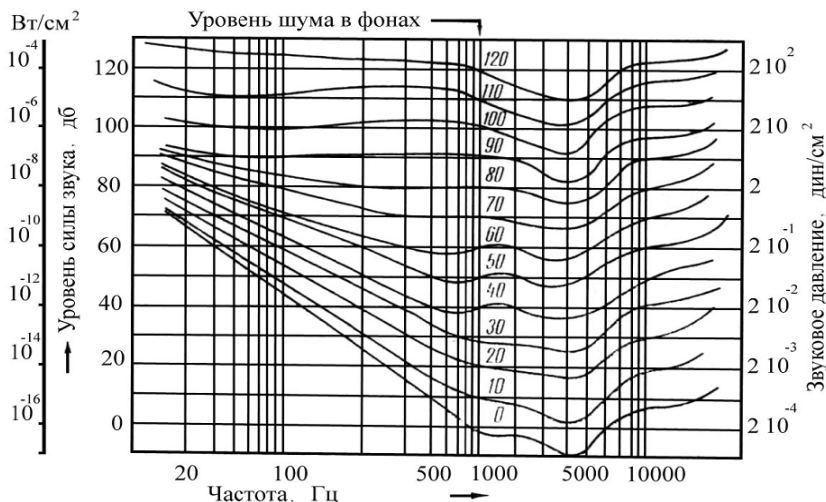


Рис. 3. Кривые равной громкости

Шумомеры снабжены блоками частотной коррекции с переключателями А, В, С, D и временных характеристик с переключателями F (fast) - быстро, S (slow) - медленно, I (pik) - импульс. Шкалу F применяют при измерениях постоянных шумов, S - колеблющихся и прерывистых, I – импульсных.

Цифровой измеритель уровня звука AR824 (шумомер) разработан согласно IEC651 TYPE2&ANSI S1.4 для применения в области техники безопасности и здравоохранения для контроля уровня шума окружающей среды.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

- 1) Мгновенное измерение уровня звука.
- 2) Диапазон измерения: 30 – 130 дБ. Прибор показывает значение уровня звука в пределах одного из четырех поддиапазонов: 30 – 80 дБ, 50 – 100 дБ, 60 – 110 дБ, 80 – 130 дБ.
- 3) Графическая круговая шкала: на 50 дБ с шагом 1 дБ для наблюдения за уровнем звука в пределах текущего поддиапазона, периодичность отображения 50 мсек.
- 4) Индикаторы «OVER» и «UNDER» для сигнализации о выходе измеряемого уровня звука за верхний или нижний пределы диапазона измерения соответственно.
- 5) Два типа взвешивающего фильтра А и С.
- 6) Функция быстрого или медленного снятия показаний (FAST/SLOW).
- 7) Функция удержания максимального значения (MAX).
- 8) Выходной аналоговый сигнал переменного (AC) и постоянного (DC) тока.
- 9) Полудюймовый электретный конденсаторный микрофон, оснащенный ветрозащитой – поролоновым шариком, надеваемым при порывах ветра.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Диапазон измерения: 30 – 130 дБА, 35 – 130 дБС

Точность: +/- 1,5 дБ

Диапазон частот: 31,5 Гц – 8,5 кГц

Диапазон линейности: 50 дБ

Типы взвешивающего фильтра: А, С

Цифровой индикатор: Разрешение 5 разрядов 0,1 дБ

Выход по переменному току: (AC) 0,707 В (среднеквадратич.) на каждый шаг, $\approx 600 \text{ Ом}$

Выход по постоянному току: (DC) 10 мВ/дБ, $\approx 100 \text{ Ом}$

Питание 4 батарейки АА 1,5В или внешний блок питания 6В 100мА (максимум 9В)

Срок непрерывной работы: 30 часов

Время автонастройки: 10 сек (при каждом включении)

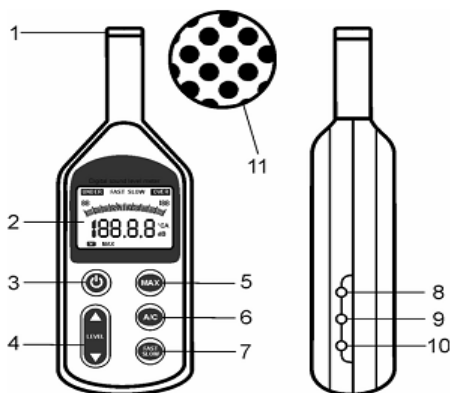
Условия эксплуатации: Температура 0...+40 °С Влажность 10...80 % RH

Условия хранения: Температура -10...+60 °С, Влажность 10...70 % RH

Габаритные размеры: 265 x 72 x 35 мм

Вес: 300 г (вместе с батареей)

ОПИСАНИЕ И ФУНКЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ УПРАВЛЕНИЯ



Элементы управления (рис.4):

- 1 – Микрофон
- 2 – Жидкокристаллический экран
- 3 – Кнопка включения/выключения прибора
- 4 – Переключатель поддиапазонов (LEVEL): 30 – 80 дБ, 50 – 100 дБ, 60 – 110 дБ, 80 – 130 дБ
- 5 – Переключатель функции удержания максимального значения (MAX)
- 6 – Переключатель взвешивающего фильтра (A/C):
 А: для измерения общего уровня звука
 С: для выявления низкочастотной составляющей шума
- 7 – Переключатель скорости снятия показаний (FAST/ SLOW):
 FAST: для обычных измерений
 SLOW: для измерения среднего уровня шума
- 8 – Выходное устройство переменного тока (AC): 0,707 В
- 9 – Выходное устройство постоянного тока (DC): 10 мВ/дБ
- 10 – Разъем для подключения внешнего блока питания 6 В
- 11 – Ветрозащитный экран



Рис. 5

Элементы жидкокристаллического экрана (рис. 5):

- 1 - Диапазон измерения
- 2 - Значок разрядки батареи
- 3 - Индикатор включения функции удержания максимального значения (MAX)
- 4 - Измеренное значение
- 5 - Единицы измерения
- 6 - Индикатор взвешивающего фильтра A/C
- 7 - Графическая шкала
- 8 – Индикатор «OVER» (сигнализация о выходе измеряемого уровня звука за верхний предел диапазона измерения)
- 9 – Режим измерения среднего уровня звука (SLOW)

10 – Режим мгновенного измерения уровня звука (FAST)

11 – Индикатор «UNDER» (сигнализация о выходе измеряемого уровня звука за нижний предел диапазона измерения)

ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

- 1) Откройте крышку отделения для батареек с помощью шуруповерта и установите четыре батарейки по 1,5В в гнезда.
- 2) Привинтите крышку обратно.
- 3) Когда напряжение батареек упадет ниже рабочего уровня, появится значок разрядки батареи. Следует заменить батарейки.
- 4) При использовании адаптера блока питания постоянного тока воткните вилку адаптера в соответствующий разъем сбоку корпуса прибора.

НАСТРОЙКА

Для настройки используйте стандартный акустический калибратор.

- 1) Сделайте следующие установки:

На экране: SPL (dBA)

Снятие показаний: быстрое (FAST)

Поддиапазон измерений: 60 – 110 дБ

Режим измерений: функция MAX отключена

- 2) Вставьте микрофон в полудюймовое отверстие калибратора.
- 3) Включите калибратор и настройте потенциометр, находящийся на задней стороне прибора в отделении для батареек так, чтобы на индикаторе появилось значение 94,00.

Рекомендованная периодичность калибровки: 1 год.

ПОРЯДОК РАБОТЫ

- 1) Включите прибор
- 2) Выберите желаемую скорость снятия показаний, тип взвешивающего фильтра и поддиапазон измерения.
- 3) Если прибор настроен для измерения общего уровня звука, пожалуйста, установите единицы измерения dBA.
- 4) Если источник звука содержит короткие и неустойчивые скачки, - установите режим мгновенного измерения уровня звука (FAST). Для измерения среднего уровня звука выберите режим SLOW.
- 5) Функция MAX. При нажатии кнопки MAX фиксируется максимальный уровень шума.

ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

- 1) Не работайте с прибором при высокой температуре и влажности окружающего воздуха.

6. Проведение измерений и обработка результатов

В соответствии с методическими указаниями по измерению производственного шума результаты измерений обрабатывают в следующей последовательности:

1. В величину измеренных уровней и частотных спектров вносят необходимые поправки на неравномерность частотной характеристики измерительного тракта.

2. Вносят поправки, обусловленные влиянием помех.

3. По откорректированным результатам измерения уровней и частотных спектров вычисляют искомые характеристики шума (средний уровень звукового давления, уровень акустической мощности и т. п.).

Измеряемые уровни частотных составляющих спектра шума выражаются в децибелах и представляют собой уровни интенсивности шума $\beta_{\Delta f}$, измеренные в каждой отдельной частотной полосе Δf .

При известных значениях уровней частотных составляющих спектра воздушного шума его общий уровень β_{Σ} в пределах выбранного диапазона частот определяют по формуле:

$$\beta_{\Sigma} = 10 \lg \sum_{f_H}^{f_B} 10^{0,1\beta_{\Delta f}} ,$$

Практически достаточно выбирать граничные частоты таким образом, чтобы уровни спектра в этих точках были ниже максимального уровня спектра шума на 20 дБ (рис. 6).

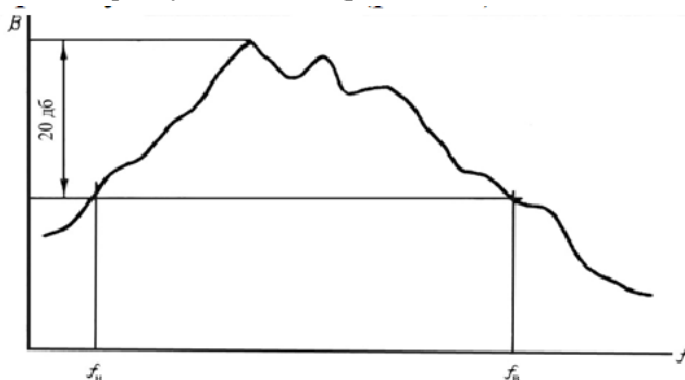


Рис. 6 Частотный спектр и граничные частоты

Суммарный уровень шума, создаваемого несколькими составляющими частотного спектра или несколькими отдельными источниками шума, может быть вычислен непосредственно путем введения соответствующих поправок, определяемых по разности уровней слагаемых, составляющих из данных, приведенных ниже (табл. 2).

Таблица 4

$\beta_1 - \beta_2$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$+\Delta\beta_1$	3	2,5	2,1	1,8	1,5	1,2	1	0,8	0,6	0,5	0,3

Зная разность уровней двух источников шума, определяют величину поправки $\Delta\beta$, которую прибавляют к большему из суммируемых уровней. Полученный результат и будет представлять собой величину суммарного уровня шума.

Пример: Определить общий уровень шума четырех одновременно работающих источников шума, уровни которых соответственно равны: $\beta_1 = 78$ дБ; $\beta_2 = 80$ дБ; $\beta_3 = 73$ дБ и $\beta_4 = 75$ дБ. Вначале суммируем два источника с максимальными уровнями $\beta_2 = 80$ дБ и $\beta_1 = 78$ дБ. По разности этих уровней находим, что поправка $\Delta\beta$ будет составлять 2,1 дБ и, следовательно, их суммарный уровень будет равен $80 + 2,1 = 82,1$ дБ. Полученный суммарный уровень подобным образом суммируем со следующим по величине уровнем $\beta_4 = 75$ дБ. Разность в данном случае будет равна 7,1 дБ и, следовательно, поправка $\Delta\beta - 0,8$ дБ. Суммируя эту поправку с ранее полученным результатом, имеем: $82,1 + 0,8 = 82,9$. Поправка на последний уровень $\beta_3 = 73$ дБ будет соответствовать разности $82,9 - 73 \approx 10$ дБ и выразится величиной 0,3 дБ. Прибавляя последнюю к ранее полученному результату, определяем, что суммарный уровень всех четырех источников будет равен $82,9 + 0,3 = 83,2$ дБ. Результаты измерений уровней звукового давления, составляющих спектра воздушного шума, производимого станком, могут быть приведены к уровням звуковой мощности, измеряемым в децибелах по отношению к пороговому уровню, равному 10^{-12} Вт.

Уровень звуковой мощности – параметр, не зависящий от условий помещения и от расстояния между измерительным микрофоном и излучающей поверхностью станка. Уровень звуковой мощности β_w

может быть определен по результатам испытаний при помощи следующей эмпирической формулы:

$$\beta_{\omega} = \beta_{0\text{cp}} + 20 \lg(r_0 + r) + 11 ,$$

где $\beta_{0\text{cp}}$ – средний уровень шума, приведенный к условиям открытого пространства;

r_0 – радиус воображаемой сферы, описанной вокруг источника звука, м;

r – расстояние от микрофона до центра воображаемой сферы, м.

Приведение среднего уровня к условиям открытого пространства вычисляют по формуле:

$$\beta_{0\text{cp}} = \beta_{\text{cp}} - 10 \lg \left[1 + \frac{8\pi(r_0 + r)^2}{R} \right] ,$$

где β_{cp} – среднее значение уровня шума, определяемое как среднеарифметическое из ряда измерений, произведенных в разных точках, равномерно расположенных вокруг станка;

R – акустическая постоянная помещения, в котором производятся измерения.

При необходимости абсолютная величина акустической мощности вычисляется по формуле:

$$W = 10^{0,1(\beta_{\omega} - 120)} \text{ Вт} .$$

Предельные уровни частотного спектра шума

Согласно «Временным санитарным нормам и правилам по ограничению шума на производстве» все шумы в зависимости от их частотного состава разделяются на три класса: низкочастотные, среднечастотные и высокочастотные. Для каждого из этих классов устанавливаются допустимые уровни шума в соответствии с табл. 3

Таблица 3

Класс	Характеристика шумов	Допустимый уровень, дБ
1	Низкочастотные шумы, у которых наибольшие уровни в спектре шума расположены ниже частоты 300 Гц; выше этой частоты уровни понижаются (не менее чем 5 дБ на октаву)	90 – 100
2	Среднечастотные шумы, у которых наибольшие уровни, расположенные ниже частоты 800 Гц; выше этой частоты уровни понижаются (не менее 5 дБ на октаву)	85 – 90
3	Высокочастотные шумы, у которых наибольшие уровни в спектре шума расположены выше частоты 800 Гц	75 – 85

Оценка шума по общему уровню в децибелах не дает правильного представления о его громкости. Поэтому при установлении величины превышения или уменьшения измеренного уровня шума по отношению к допустимому следует выражать эту величину и процентах изменения громкости, руководствуясь следующими данными (табл. 4):

Таблица 4

Изменение уровня шума, дБ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	Изменение громкости, %	10	20	29	37	44	50	55	60	64	68	72	75	78	80	82	84	86	88	90

Например, общий уровень шума станка превышает допустимый на 7 дБ; следовательно, громкость шума данного станка больше допустимой на- 55%.

Приведенные выше санитарные нормы допустимого уровня шума относятся к шуму в производственных помещениях, слагающихся из шума, производимого каждым отдельным станком и данным помещением.

Для того чтобы эти нормы были соблюдены, уровень шума каждого отдельного станка должен быть значительно ниже этой нормы. Поэтому на шум станков устанавливаются особые нормы, ограничивающие предельные максимальные уровни частотных составляющих спектра.

Предельные максимальные уровни звукового давления частотных составляющих шума станков устанавливают исходя из требований санитарных норм с учетом акустической характеристики данного помещения и влияния, оказываемого на общий уровень шума одновременной работой нескольких станков.

В соответствии с этим уровни звукового давления отдельных частотных составляющих спектра воздушного шума, измеряемые в децибелах, не должны превышать следующих значений:

- 1) в диапазоне частот от 25 до 200 Гц 90 – дБ;
- 2) в диапазоне частот от 200 до 3200 Гц уровни частотных составляющих должны иметь равномерный спад на 20 дБ (от 90 дБ на нижней частотной границе до 70 дБ на верхней), т. е. 5 дБ на октаву;
- 3) в диапазоне свыше 3200 Гц – 70 дБ.

Графически это представляется в виде ломаной линии, обозначенной ПС – 80, нанесенной на полулогарифмической сетке (рис. 7).

Частотный спектр воздушного шума, измеренный анализатором с шириной полосы пропускания 1/3 октавы, во всех случаях не должен выходить за предельную линию.

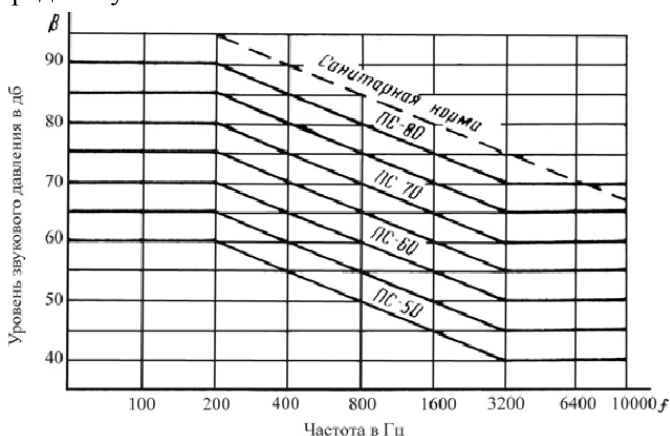


Рис.5 Предельные спектры шума для металлорежущих станков

В случае измерения спектра анализаторами с другой шириной полосы пропускания результаты измерений должны быть соответствующим образом пересчитаны с учетом рекомендаций, приведенных в книге Л. Беранека «Акустические измерения».

Выбор предельных значений уровней частотных составляющих шума в основном определяется габаритами станка и мощностью привода главного движения. Спектр шума не должен превышать следующих предельных значений (табл. 5).

Таблица 5

Мощность привода, кВт	До 1	1-1,6	1,6-2,5	2,5-4	4-6,3	6,3-10	Свыше 10
Спектр шума по ПС	50	55	60	65	70	75	80

Измерение общего уровня и частотного спектра шума считается обязательным при испытаниях опытных образцов станков, арбитражных решениях и при выборочных испытаниях серийных станков. Результаты измерения частотного спектра шума заносят в протокол контрольных испытаний станка.

Для серийных станков можно ограничиться проверкой общего уровня шума по шкале «В» объективного шумомера. Величина уровня устанавливается на основании результатов измерения частотного спектра и утверждается при приемке опытного образца. В паспортных данных станка должна указываться его звуковая мощность, определяемая расчетным путем на основании результатов измерения уровня звукового давления в пределах заданного диапазона частот.

Выявление интенсивных возбудителей шума

Большинство шумов, производимых металлорежущими станками, имеют сплошные спектры с несколькими четко выраженными частотными составляющими, частота которых соответствует вынужденной частоте колебаний, вызываемых в большинстве случаев неточностью изготовления деталей, плохой их пригонкой, динамической неуравновешенностью движущихся частей и т. п.

Наличие некоторых частотных составляющих объясняется, кроме того, свободными колебаниями, соответствующими частоте собствен-

ных колебаний отдельных деталей, а также автоколебательными процессами, возникающими в результате неустойчивости процесса движения механизма.

Наличие таких частотных составляющих в спектре шума и сопоставление их с расчетными значениями частот вынужденных колебаний позволяет использовать частотный анализ для выявления интенсивных источников шума.

Наиболее часто встречаются в практике станкостроения следующие причины вынужденных колебаний, представляющие собой источники интенсивного шума: динамические нагрузки в зубчатых передачах, возникающие вследствие наличия определенных видов погрешностей их изготовления, переменность нагрузки, воспринимаемой шариками или роликами в подшипниках качения, динамические удары шариков или роликов о неровности поверхности беговых дорожек наружного и внутреннего колец подшипников.

Возбудителями повышенного шума могут явиться также шлицевые соединения, кулачковые муфты, гидравлические системы, электродвигатели. К этому следует также прибавить такие причины, как неуравновешенность вращающихся масс, прогибы и упругие „закручивания“ валов и т. п.

По некоторым элементам приводов главного движения металлорежущих станков, таким, например, как зубчатые передачи, установлены причины и выявлены технологические факторы, играющие основную роль в образовании интенсивного шума.

Частоты вынужденных колебаний в случае зубчатых передач определяются наиболее низкой частотой оборотов $n / 60$, а также частотами проявления различных погрешностей зацепления. Наиболее распространенными из них считаются погрешности шага зацепления, проявляющиеся с частотой $n z / 60$ (где z – число зубьев меньшего колеса данной пары), погрешности профиля, в том числе и так называемая огранка профиля, являющаяся следствием прерывистости процесса формообразования зубьев.

Частота вынужденных колебаний, вызываемых этим последним фактором, еще более высокая, чем предыдущая, и определяется как $k \cdot n \cdot z / 60$ (где k – число погрешностей на каждом отдельном

зубе зубчатого колеса). К возникновению вынужденных колебаний также приводят погрешности расточек базовых отверстий в корпусе зубчатой передачи. Даже при самом тщательном изготовлении зубчатых колес перекосы валов, на которых они монтируются, могут привести к результатам, аналогичным тем, какие получаются при наличии погрешностей самого зубчатого зацепления.

Частоты вынужденных колебаний в подшипниках качения обуславливаются частотой пересопряжения шариков или роликов, частотой оборотов сепаратора и особенно частотой, вызываемой макрогеометрией дорожек качения наружного и внутреннего колец. Здесь также часты случаи резонанса вследствие совпадения одной из вынужденных частот с собственной частотой наружного и внутреннего кольца подшипника.

В связи с этим важное значение имеют характер посадки подшипника в корпусе коробки, а также величина предварительного натяга. В зависимости от выбранных значений этих параметров частотный спектр и интенсивность шума могут значительно меняться.

Электродвигатели приводов главного движения и других рабочих механизмов и узлов также являются одним из источников интенсивного шума. В частотном спектре шума электродвигателя характерными являются следующие составляющие: частота воздушного шума, вызываемого завихрениями на концах лопастей вентилятора; частоты, вызываемые работой подшипников качения, о которых было сказано выше.

Частота коллекторных пластин в случае применения коллекторных двигателей и, наконец, частота магнитного шума, излучаемого в основном поверхностью статора, вибрирующего под воздействием периодических усилий, возникающих в воздушном зазоре электродвигателя. Особенно неприятными из перечисленных частот шума электродвигателей является последняя как наиболее высокая.

Если влияние каждого из перечисленных выше факторов на образование шума может быть представлено с определенной достоверностью, то этого нельзя сделать в том случае, когда все эти факторы действуют одновременно. Указать заранее закон, по которому будет происходить взаимодействие отдельных возбудителей вынужденных колебаний, практически невозможно, так как для этого потребовалось бы ре-

шить большее число систем дифференциальных уравнений. Поэтому единственным путем для установления влияния различных указанных выше факторов на образование шума является непосредственное измерение уровней и снятие частотных спектров шума, возникающего при работе отдельных механизмов станка.

Сопоставив расчетные значения частот вынужденных и свободных колебаний с результатами частотного анализа шума исследуемого механизма, можно выявить причины, вызывающие повышенный шум при работе данного механизма на заданных числах оборотов.

Для решения вопроса о том, в отношении каких элементов механизма следует предпринимать меры, направленные на снижение шума, необходимо представить распределение энергии в частотном спектре шума. Это делается на основании определения уровней шума отдельных элементов данного механизма при его работе на различных числах оборотов.

Измеряя уровень шума, возникающего в процессе работы какой-либо части кинематической цепи исследуемого механизма, и затем после подключения следующего звена, из него повторно можно определить уровень шума, создаваемого работой только одного последнего звена, по формуле:

$$\beta = 10 \lg \left(10^{0,1\beta_2} - 10^{0,1\beta_1} \right),$$

где β – уровень шума, производимого приключенным звеном;

β_1 – первоначальный уровень шума;

β_2 – уровень шума после подключения нового звена.

Частотные составляющие спектра шума лучше всего измерять в порядке последовательности сборки данного механизма.

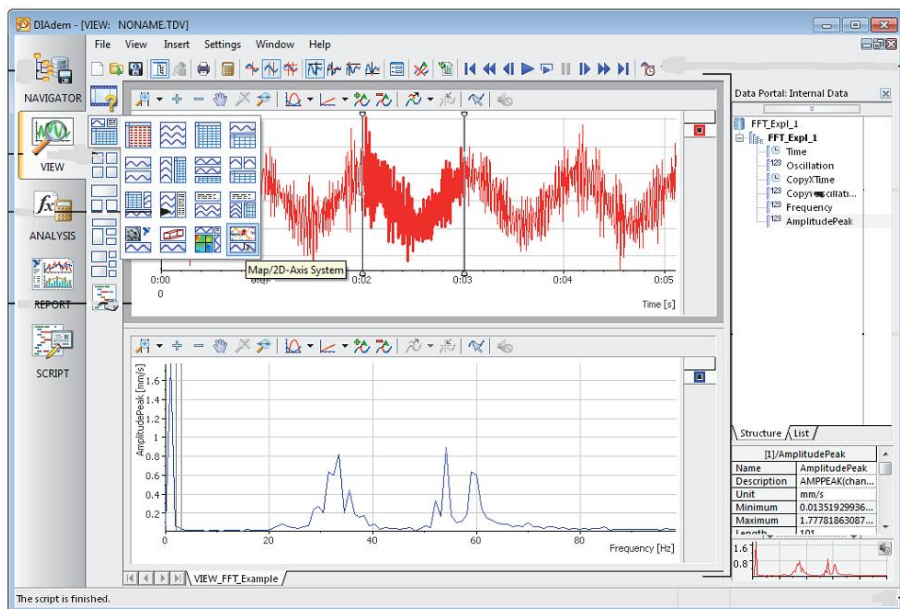
На основании результатов измерений составляют баланс уровней звукового давления по каждому отдельному звену исследуемого механизма. По результатам баланса уровней звукового давления, а также на основании сопоставления полученных частотных спектров с расчетными значениями вынужденных и собственных частот составляют программу мероприятий, предусматривающих общее снижение шума всего механизма.

По этим же результатам определяют средние значения уровней шума для отдельных элементов механизма, которые могут быть приняты как нормативные.

7. Оформление результатов измерений

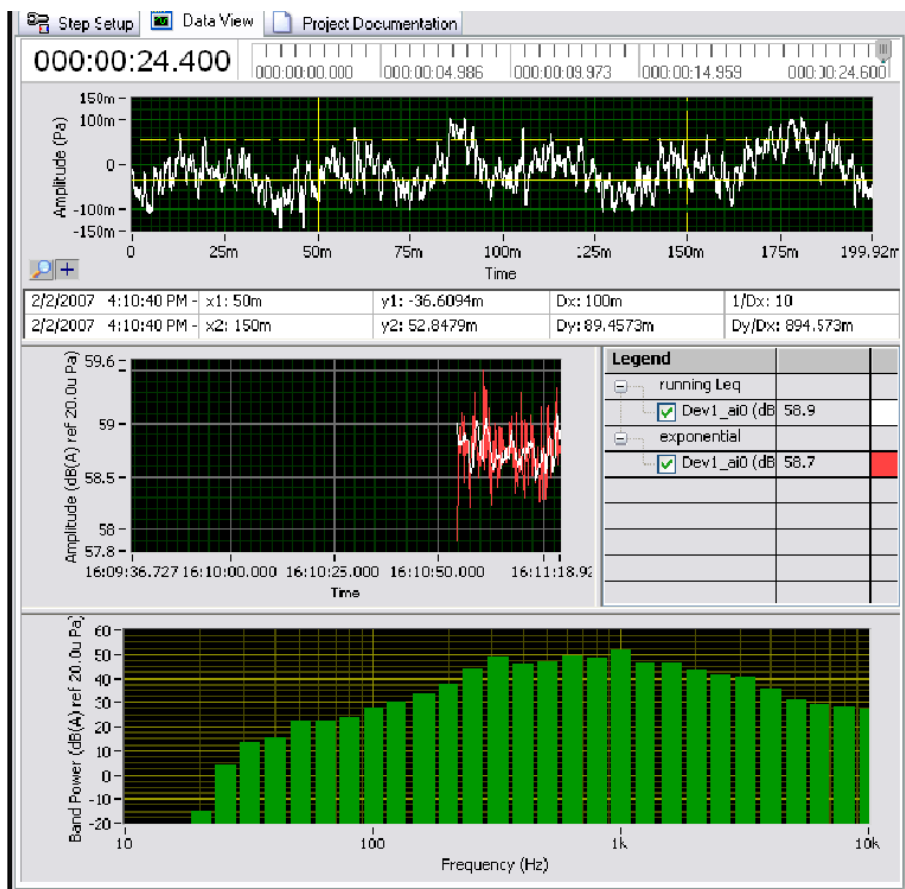
Для автоматизации измерений и обработки данных может быть использована диагностическая измерительная система (ДИС) на платформе CompactDAQ/myDAQ/LabVIEW компании NI. В этом случае удобно применить цифровой шумомер с аналоговым выходом, что позволит повысить точность измерений, ускорит вывод протоколов измерений и позволит избежать ошибок, связанные с человеческим фактором.

При использовании универсального программного пакета DIAdem результаты могут быть представлены в виде:



Однако наиболее целесообразным является применение специализированного программного средства экспресс-инструмента для виброакустического анализа Sound and Vibration Assistant.

Пример выполнения октавного анализа исследуемого звука:



Эти результаты распечатываются и подшиваются в отчет по лабораторной работе.

8. Контрольные вопросы

1. Как классифицируются шумы по природе происхождения ?
2. Какими физическими параметрами характеризуется шум?
3. Что такое децибел (дБ) и децибел "А"(дБА)? Чем объясняется введение этих единиц для характеристики шума?
4. Как классифицируется шум по спектральным и временным характеристикам?
5. Назовите основные источники шума у исследуемого оборудования.
6. Назовите основные причины возникновения шума в исследуемом оборудовании.

7. Как могут изменяться выходные параметры оборудования в течении жизненного цикла изделия.

9. Литература.

ГОСТ 11929-87	Машины электрические вращающиеся. Общие методы испытаний. Определение уровня шума
ГОСТ 12.1.003-83	ССБТ. Шум. Общие требования безопасности
ГОСТ 12.1.023-80	ССБТ. Шум. Методы установления шумовых характеристик стационарных машин
ГОСТ 12.1.024-81	ССБТ. Шум. Определение шумовых характеристик источников шума в заглушенной камере. Точный метод
ГОСТ 12.1.025-81	ССБТ. Шум. Определение шумовых характеристик источников шума в реверберационной камере. Точный метод
ГОСТ 12.1.026-80	ССБТ. Шум. Определение шумовых характеристик источников шума в свободном звуковом поле над звукоотражающей плоскостью. Технический метод
ГОСТ 12.1.027-80	ССБТ. Шум. Определение шумовых характеристик источников шума в реверберационном помещении. Технический метод
ГОСТ 12.1.028-80	ССБТ. Шум. Определение шумовых характеристик источников шума. Ориентировочный метод
ГОСТ 12.1.050-86	ССБТ. Методы измерения шума на рабочих местах
ГОСТ 12.2.009-99	Станки металлообрабатывающие. Общие требования безопасности
ГОСТ 12.2.016.1-91	ССБТ. Оборудование компрессорное. Определение шумовых характеристик. Общие требования
ГОСТ 12.2.016.5-91	ССБТ. Оборудование компрессорное. Шумовые характеристики и защита от шума. Построение (изложение, оформление, содержание) технических документов
ГОСТ 12.2.024-87	ССБТ. Шум. Трансформаторы силовые масляные. Нормы и методы контроля
ГОСТ 12.2.107-85	ССБТ. Шум. Станки металлорежущие. Допустимые шумовые характеристики
ГОСТ 16372-93	Машины электрические вращающиеся. Допустимые уровни шума
ГОСТ 17187-81	Шумомеры. Общие технические требования и методы испытаний
ГОСТ 23941-2002	Шум машин. Методы определения шумовых характеристик. Общие требования
ГОСТ 26329-84	Машины вычислительные и системы обработки данных. Допустимые уровни шума технических средств и методы их определения
ГОСТ 27243-2005	Шум машин. Определение уровней звуковой мощности по звуковому давлению. Метод сравнения на месте установки

ГОСТ 27243-87	Шум. Ориентировочный метод определения уровня звуковой мощности шума машин при помощи образцового источника звука
ГОСТ 27408-87	Шум. Методы статистической обработки результатов определения и контроля уровня шума, излучаемого машинами
ГОСТ 27409-97	Шум. Нормирование шумовых характеристик стационарного оборудования. Основные положения
ГОСТ 27818-88	Машины вычислительные и системы обработки данных. Допустимые уровни шума на рабочих местах и методы определения
ГОСТ 30457.3-2006	Акустика. Определение уровней звуковой мощности источников шума по интенсивности звука. Часть 3. Точный метод для измерения сканированием
ГОСТ 30457-97	Акустика. Определение уровней звуковой мощности источников шума на основе интенсивности звука. Измерение в дискретных точках. Технический метод
ГОСТ 30530-97	Шум. Методы расчета предельно допустимых шумовых характеристик стационарных машин
ГОСТ 30683-2000	Шум машин. Измерение уровней звукового давления излучения на рабочем месте и в других контрольных точках. Метод с коррекциями на акустические условия
ГОСТ 30691-2001	Шум машин. Заявление и контроль значений шумовых характеристик
ГОСТ 30720-2001	Шум машин. Определение уровней звукового давления излучения на рабочем месте и в других контрольных точках по уровню звуковой мощности
ГОСТ 31169-2003	Шум машин. Измерение уровней звукового давления излучения на рабочем месте и в других контрольных точках. Ориентировочный метод измерений на месте установки
ГОСТ 31171-2003	Шум машин. Руководство по выбору метода определения уровней звукового давления излучения на рабочем месте и в других контрольных точках
ГОСТ 31172-2003	Шум машин. Измерение уровней звукового давления излучения на рабочем месте и в других контрольных точках. Технический метод в существенно свободном звуковом поле над звукоотражающей плоскостью
ГОСТ 31249-2004	Акустика. Построение и параметрическое описание линий пространственного распределения звука в рабочих помещениях для оценки их акустических характеристик
ГОСТ 31252-2004	Шум машин. Руководство по выбору метода определения уровней звуковой мощности
ГОСТ 31273-2003	Шум машин. Определение уровней звуковой мощности по звуковому давлению. Точные методы для заглушенных камер
ГОСТ 31274-2004	Шум машин. Определение уровней звуковой мощности по звуковому давлению. Точные методы для реверберационных камер
ГОСТ 31300-2005	Шум машин. Насосы гидравлические. Испытания на шум

ГОСТ 31327-2006	Шум машин. Метод сравнения данных по шуму машин и оборудования
ГОСТ 31336-2006	Шум машин. Технические методы измерения шума компрессоров и вакуумных насосов
ГОСТ 8.257-84	Государственная система обеспечения единства измерений. Шумомеры. Методика поверки
ГОСТ ЕН 12417-2006	Безопасность металлообрабатывающих станков. Центры обрабатывающие для механической обработки
ГОСТ ЕН 12626-2006	Безопасность металлообрабатывающих станков. Станки для лазерной обработки
ГОСТ ИСО 11205-2006	Шум машин. Определение уровней звукового давления излучения на рабочем месте и в других заданных точках по интенсивности звука. Технический метод
ГОСТ ИСО 16902-1-2006	Шум машин. Технический метод определения уровней звуковой мощности насосов гидроприводов по интенсивности звука
ГОСТ ИСО 230-5-2002	Испытания станков. Часть 5. Определение шумовых характеристик
ГОСТ Р 50573-93	Машины кузнечно-прессовые. Шумовые характеристики и методы их определения
ГОСТ Р 51401-99	Шум машин. Определение уровней звуковой мощности источников шума по звуковому давлению. Технический метод в существенно свободном звуковом поле над звукоотражающей плоскостью
ГОСТ Р 51402-99	Шум машин. Определение уровней звуковой мощности источников шума по звуковому давлению. Ориентировочный метод с использованием измерительной поверхности над звукоотражающей плоскостью
ГОСТ Р 52895-2007	Шум машин. Приемочные испытания зубчатых редукторов на шум
ГОСТ Р 53032-2008	Шум машин. Измерение шума оборудования для информационных технологий и телекоммуникаций
ГОСТ Р 53148-2008	Машины электрические вращающиеся. Предельные уровни шума
ГОСТ Р 53188.1-2008	Шумомеры. Часть 1. Технические требования
ГОСТ Р ЕН 12717-2006	Безопасность металлообрабатывающих станков. Станки сверильные
ГОСТ Р ЕН 12840-2006	Безопасность металлообрабатывающих станков. Станки токарные с ручным управлением, оснащенные и не оснащенные автоматизированной системой управления
ГОСТ Р ЕН 12957-2007	Безопасность металлообрабатывающих станков. Станки электроэрозионные
ГОСТ Р ЕН 13788-2007	Безопасность металлообрабатывающих станков. Станки-автоматы токарные многошпиндельные

10. Приложения

