ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 53572— 2009 (ИСО 17201-4:2006)

Акустика

ШУМ, ПРОИЗВОДИМЫЙ НА СТРЕЛЬБИЩАХ

Часть 4

Прогнозирование звука пули

ISO 17201-4:2006
Acoustics — Noise from shooting ranges — Part 4: Prediction of projectile sound (MOD)

Издание официальное

БЗ 10—2009/825

Москва
Стандартинформ
2010

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», а правила применения национальных стандартов Российской Федерации — ГОСТ Р 1.0—2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения»

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Автономной некоммерческой организацией «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» (АНО «НИЦ КД») на основе русской версии стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 358 «Акустика»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 декабря 2009 г. № 865-ст

4 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к международному стандарту ИСО 17201-4:2006 «Акустика. Шум, производимый на стрельбищах. Часть 4. Прогнозирование звука пули» (ISO 17201-4:2006 «Acoustics — Noise from shooting ranges — Part 4: Prediction projectile sound») путем внесения технических отклонений, объяснение которых приведено в дополнительном приложении ДА. Ссылки на национальные стандарты Российской Федерации и межгосударственные стандарты выделены полужирным курсивом

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты», а текст изменений и поправок — в ежемесячно издаваемых информационных указателях «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет

© Стандартинформ, 2010

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Характерные области распространения звука 3
5 Описание источника 4
5.1 Точка источника 4
5.2 Уровень звукового воздействия 4
6 Расчет уровней звукового воздействия 5
6.1 Основные соотношения 5
6.2 Расчет затухания из-за влияния различных факторов 6
7 Неопределенность результатов расчета 8
Приложение А (справочное) Вывод констант, учет влияния препятствия и других эффектов 9
Приложение В (справочное) Рекомендации по оценке неопределенности 12
Приложение ДА (справочное) Технические отклонения настоящего стандарта от примененного в нем международного стандарта ИСО 17201-4:2006 14
Библиография 15

Введение

Звук выстрела состоит в общем случае из трех компонент: дульной волны, ударной волны и звука пули. В настоящем стандарте рассматривается звук пули, возникающий при полете со сверхзвуковой скоростью.

Настоящий стандарт устанавливает метод расчета уровня звукового воздействия пули. Метод расчета параметров распространения звука пули отличается от аналогичных параметров распространения звука от других источников.

Звук пули считают исходящим из точки ее траектории, называемой точкой источника. Уровень звукового воздействия пули рассчитывают по геометрическим параметрам и скорости пули. Учитывают зависимость частотного спектра звукового воздействия пули от расстояния до точки источника вследствие нелинейных эффектов. Приведены методы расчета уровня звукового воздействия по уровню звукового воздействия в точке наблюдения с учетом геометрического затухания, затухания за счет нелинейных эффектов и поглощения звука атмосферой. Дополнительно учтено влияние уменьшения скорости пули и атмосферной турбулентности.

В ограниченной области пространства (область II — см. раздел 4) уровни звукового воздействия пули сравнимы с уровнем звукового воздействия дульной волны. Вне данной области распространяется только дифрагировавший или рассеянный звук пули значительно более низких уровней. Звук пули позади области II (область I) существенно слабее звука дульной волны. В настоящем стандарте приведен порядок расчета уровней в областях I и II. В [1] приведены результаты измерений и расчетов для нескольких калибров и расстояний, т. е. в зависимости от точки источника и точки наблюдения. Результаты расчетов завышают звук пули в среднем на 1,8 дБ*А*.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Акустика

ШУМ, ПРОИЗВОДИМЫЙ НА СТРЕЛЬБИЩАХ

Часть 4

Прогнозирование звука пули

Acoustics. Noise from shooting ranges. Part 4. Prediction of projectile sound

Дата введения — 2010—12—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает расчетную модель для определения 1/3-октавного спектра уровня звукового воздействия пули для среднегеометрических частот в диапазоне от 12,5 Гц до 10 кГц и метод расчета уровня звукового воздействия в точке наблюдения.

Настоящий стандарт распространяется на пули калибром менее 20 мм, но может быть применен при больших калибрах. Результаты расчета могут быть использованы для сравнения звукового излучения при взрыве боеприпасов различного типа, применяемых с оружием определенного вида. Стандарт распространяется на гражданское оружие, но может быть применен для боевого оружия.

Метод расчета может быть использован для оценки шума в окружающей среде. Метод прогнозирования применим в условиях открытого пространства, при прямолинейной траектории и обтекаемой форме пули. Ввиду последнего обстоятельства данный метод неприменим к расчету звука дробового снаряда. Значения параметров, применяемые в настоящем стандарте как априорно известные, приведены для температуры 10 °С, относительной влажности воздуха 80 % и атмосферного давления 1013 гПа. Приложение А может быть использовано для расчетов при других атмосферных условиях. Для получения более точных результатов по звукопоглощению в воздухе расчеты выполняют в 1/3-октавных полосах частот, так как в указанном частотном диапазоне звукопоглощение в воздухе значительно.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р 53570—2009 (ИСО 17201-1—2005) Акустика. Шум, производимый на стрельбищах. Часть 1. Определение акустических характеристик дульной волны путем измерений

ГОСТ 31295.1—2005 (ИСО 9613-1:1993) Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 1. Расчет поглощения звука атмосферой

ГОСТ 31295.2—2005 (ИСО 9613-2:1996) Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчета

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный стандарт заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться заменяющим (измененным) стандартом. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

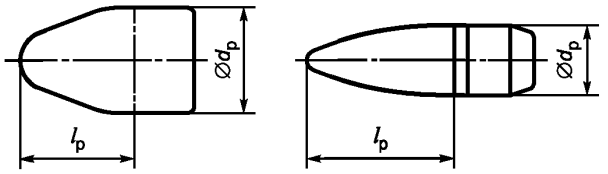
Издание официальное

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины и определения по ***ГОСТ Р 53570***, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **обтекаемая пуля** (streamlined projectile): Тело вращения, у которого первая производная от площади поперечного сечения $A(x)$по координате x вдоль оси пули, начиная с носовой части, является непрерывной функцией для $0 \le x < l_p$.

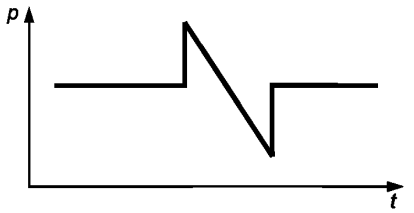
3.2 **эффективная длина пули** l_p (effective projectile length),**м:** Расстояние вдоль оси пули от носовой части до координаты, в которой поперечное сечение пули максимально (рисунок 1).



l_p — эффективная длина пули; d_p — максимальный диаметр пули

Рисунок 1 — Эффективная длина пули

3.3 **N-волна** (N-wave): Волна, в которой звуковое давление скачкообразно возрастает до максимума, линейно спадает до минимума и затем скачком возрастает до первоначального значения (рисунок 2).



t — время; p — звуковое давление

Рисунок 2 — Зависимость от времени звукового давления сверхзвуковой пули в N-волне

3.4 **длительность N-волны** T_C (duration time), **с**: Интервал между моментами времени, в которых N-волна скачкообразно возрастает.

Примечание — Вследствие нелинейных акустических эффектов T_C изменяется вдоль пути распространения N-волны.

3.5 **характеристическая частота** f_C (characteristic frequency), **Гц:** Величина, обратная длительности N-волны $f_C = \frac{1}{T_C}$.

3.6 **система координат** (x, y) [coordinate system (x, y)], **м:** Плоская прямоугольная система координат, в которой ось x, начинаясь от дула, совпадает с линией огня.

Примечание — Звуковое поле пули осесимметрично относительно линии огня, поэтому координатная плоскость (x, y) может быть наклонена к горизонтальной плоскости под произвольным углом.

3.7 **расстояние когерентности** R_{coh} (coherence distance), **м:** Расстояние между точкой траектории и точкой наблюдения, при превышении которого звуковое излучение соседних частей траектории пули становится некогерентным в точке наблюдения вследствие атмосферной турбулентности.

3.8 **число Маха** ***M*** (Mach number): Отношение скорости пули к скорости звука.

3.9 **точка источника** (source point): Точка, в которой линия, проведенная от точки наблюдения перпендикулярно волновому фронту, пересекает траекторию пули.

Примечание — В настоящем стандарте точка источника используется для изображения траектории, которая является линейным источником звука [см. формулу (4)].

3.10 **уровень звукового воздействия источника** $L_{E,\,S}$ (source sound exposure level), **дБ:** Уровень звукового воздействия на расстоянии 1 м от точки источника.

Примечание — Расстояние 1 м, отложенное от точки источника в направлении точки наблюдения, называют опорным.

3.11 **начальная скорость пули** v_{p0} (projectile launch speed), **м/с:** Скорость пули при вылете из дула.

3.12 **скорость пули** v_p(projectile speed), **м/с:** Скорость пули вдоль траектории.

3.13 **конечная скорость** v_{pe} (end speed), **м/с:** Скорость пули в момент попадания в цель или в точке траектории, где число Маха уменьшается до 1,01.

3.14 **опорная скорость звука** (reference sound speed), **м/с:** Адиабатическая скорость звука в воздухе, усредненная на интервале времени не менее 10 мин.

3.15 **флуктуирующая эффективная скорость звука** (fluctuating effective sound speed), **м/с:** Сумма мгновенной адиабатической скорости звука и мгновенной горизонтальной составляющей скорости ветра в направлении распространения звука.

3.16 **стандартное отклонение флуктуирующего акустического индекса рефракции** μ_0 (standard deviation of the fluctuating acoustical index of refraction), **м:** Стандартное отклонение отношения опорной скорости звука к флуктуирующей эффективной скорости звука.

Примечание — В настоящем стандарте в соответствии с [2] $\mu_0^2 = 10^{-5}$ [см. формулу (12)].

3.17 **изменение скорости пули** κ (projectile speed change), **1/с:** Изменение скорости пули на единице длины траектории.

Примечания

1 Единицей измерения изменения скорости пули является обратная секунда [(м/с · м) = 1/с].

2 Эта величина отрицательна для нереактивных пуль (снарядов).

4 Характерные области распространения звука

Волновой фронт, зарождающийся в носовой части пули, имеет форму конуса (см. рисунок 3). Скорость пули снижается вдоль траектории. Как следствие, волновой фронт искривляется. Различают три области (I, II и III) распространения звука, см. рисунок 3. Уровень звукового воздействия в областях I и III значительно ниже по сравнению с областью II. В настоящем стандарте предложена расчетная модель для уровней звукового воздействия в областях II и III. Уровни звукового воздействия в области I пренебрежимо малы по сравнению с дульной волной. Скорость пули рассчитывают в соответствии с формулой

$$v_p(x) = v_{p0} + \kappa x, \tag{1}$$

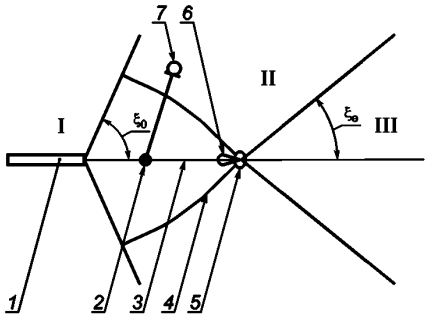
где x — координата пули, м.

Границы области II определяют углами ξ_0 и ξ_e (рисунок 3). Данные углы рассчитывают по формулам

$$\xi_0 = \arccos\left(\frac{c_{am}}{v_{p0}}\right) \text{ и } \xi_e = \arccos\left(\frac{c_{am}}{v_{pe}}\right), \tag{2}$$

где v_{pe} — конечная скорость пули, м/с;

c_{am} — скорость звука, м/с.



1 — оружие; *2* — точка источника; *3* — траектория пули; *4* — волновой фронт; *5* — цель; *6* — пуля; *7* — точка наблюдения

Рисунок 3 — Три области распространения звука пули

Скорость звука является функцией абсолютной температуры воздуха T_{am} в градусах Кельвина и определяется по формуле

$$c_{am} = c_{ref}(T_{am}/T_{ref})^{1/2}, \quad (3)$$

где T_{ref} = 283,15 К (10 °С);

c_{ref} = 337,6 м/с (скорость звука при T_{ref}).

При дозвуковой скорости пули угол ξ_e = 0, т. е. область III не существует. Целью в этом случае считают точку траектории, где число Маха уменьшается до 1,01.

5 Описание источника

5.1 Точка источника

Координаты точки источника (x_S, 0) могут быть определены методом итерации. Для прямолинейных траекторий их следует определять по формуле

$$(x - x_S)^2 \cdot (v_{p0} + \kappa x_S + c_{am}) \cdot (v_{p0} + \kappa x_S - c_{am}) = c_{am}^2 y^2 \text{ для } 0 < x_S < x \text{ и } x_S < \left| \frac{c_{am} - v_{p0}}{\kappa} \right|, \quad (4)$$

где (x, y) координаты точки наблюдения.

В случае, если координаты точки источника оказались дальше от цели или точки наблюдения в области III, то за точку источника принимают цель.

5.2 Уровень звукового воздействия

Широкополосный уровень звукового воздействия пули $L_{E,\,s,\,bb}$, дБ*A*, рассчитывают по формуле

$$L_{E,\,s,\,bb} = L_0 + 10\lg\left(\frac{d_p^3}{l_p^{3/4} r_0^{9/4}}\right) + 10\lg\left[\frac{M^{9/4}}{(M^2-1)^{3/4}}\right], \quad (5)$$

где L_0 = 169,9 дБ*A* относительно (20 мкПа)^2 (см. А.2);

$M = v_p(x)/c_{am}$ — число Маха пули в точке источника для скорости пули, рассчитанной по формуле (1), и скорости звука, рассчитанной по формуле (3) при температуре воздуха, для которой прогнозируют уровень звукового воздействия пули;

r_0 = 1 м.

В принципе для расчета широкополосного уровня звукового воздействия вместо эффективной может быть использована полная длина пули, но в таком случае полная длина должна быть использована также для расчета фактора формы K и по нему константы L_0 (см. приложение А).

Если число Маха приближается к единице, то третий член в формуле (5) становится неопределенным. Поэтому нижним пределом для числа Маха в этой формуле принимают значение M = 1,01.

Спектр звука пули может быть рассчитан с помощью преобразования Фурье от N-волны. Предполагается, что 1/3-октавный спектр уровня звукового воздействия в точке наблюдения имеет спад на низких и высоких частотах и единственную характеристическую частоту f_C, рассчитываемую по формуле:

$$f_C = f_0 \frac{(M^2-1)^{1/4}}{M^{3/4}} \frac{l_p^{1/4}}{d_p} \frac{r_0}{r^{1/4}}, \quad (6)$$

где r — расстояние от точки источника до точки наблюдения, м;

f_0 — опорная частота, равная 175,2 Гц при 10 °С (см. А.3).

Примечание — Из формулы (6) следует, что характеристическая частота f_C уменьшается с ростом расстояния r, что является следствием уширения импульса за счет нелинейных эффектов.

В диапазоне среднегеометрических частот f_i от 12,5 Гц до 10 кГц для стандартных 1/3-октавных фильтров 1/3-октавный уровень звукового воздействия рассчитывают по формуле

$$L_{E,\,s}(f_i) = L_{E,\,s,\,bb} + C_i - C_{tot}, \quad (7)$$

где

$$C_i = 2{,}5 + 28\lg\left(\frac{f_i}{f_C}\right) \text{ для } f_i < 0{,}65 f_C; \quad (8)$$

$$C_i = -5{,}0 - 12\lg\left(\frac{f_i}{f_C}\right) \text{ для } f_i \geq 0{,}65 f_C; \quad (9)$$

$$C_{tot} = 10\lg \sum_{i=11}^{40} 10^{C_i/10}; \quad (10)$$

$f_i = 10^{i/10}$ — среднегеометрическая частота 1/3-октавной полосы (i = 11 соответствует частоте 12,5 Гц, i = 40 — частоте 10 кГц).

6 Расчет уровней звукового воздействия

6.1 Основные соотношения

Значения 1/3-октавного спектра уровня звукового воздействия в точке наблюдения $L_{E,\,r}(f_i)$ необходимы для расчета затухания, вызванного факторами, уменьшающими амплитуду звука при его распространении, начиная от расстояния 1 м до точки наблюдения на расстоянии r. 1/3-октавный спектр рассчитывают по формуле

$$L_{E,\,r}(f_i) = L_{E,\,s}(f_i) - A_{div} - A_{nlin} - A_{atm}(f_i) - A_{excess}, (f_i), \quad (11)$$

где $L_{E,\,s}(f_i)$ — 1/3-октавный уровень звукового воздействия на среднегеометрической частоте f_i на расстоянии 1 м от точки источника [см. формулу (7)], дБA;

A_{div} — геометрическое затухание уровня звука в свободном от препятствий звуковом поле в результате увеличения площади волнового фронта при увеличения расстояния, начиная от расстояния 1 м, дБA;

A_{nlin} — нелинейное затухание из-за нелинейных эффектов, связанных с большим начальным звуковым давлением вблизи точки источника, дБA;

$A_{atm}(f_i)$ — затухание, вызванное звукопоглощением в атмосфере при распространении звука, начиная от расстояния 1 м до точки наблюдения, дБA;

$A_{excess}(f_i)$ — дополнительное затухание из-за влияния земли, атмосферной рефракции и экранирования препятствиями, дБA.

Примечание — По мере распространения звука пули от расстояния 1 м до точки наблюдения r затухание включает в себя потери из-за: взаимодействия звуковой волны с поверхностью земли; рефракции или искривления траектории звука, вызванной градиентами вертикального профиля скорости звука в воздухе; экранирование препятствиями. В ***ГОСТ 31295.2*** приведены методы расчета дополнительных факторов затухания при прогнозировании звука. В А.4 приведены указания по учету влияния препятствий.

6.2 Расчет затухания из-за влияния различных факторов

6.2.1 Геометрическое затухание

Для расчета геометрического затухания A_{div} следует различать положения точки наблюдения в области II и III. В области II геометрическое затухание изменяется в интервале значений от $10\lg(r/r_0)$ дБ до $25\lg(r/r_0)$ дБ (r — расстояние от точки источника до точки наблюдения) вследствие двух эффектов:

a) уменьшения скорости пули;

b) атмосферной турбулентности.

На коротких дистанциях первый эффект преобладает. Начиная с расстояния когерентности R_{coh} преобладает второй эффект. На дистанциях свыше 10 км от точки источника на траектории пули (снаряда) ослабление стремится к пределу $20\lg(r/r_0)$ дБ как в сферической звуковой волне [2].

Расстояние когерентности R_{coh}, м, рассчитывается по формуле

$$R_{coh} = \min\left\{\frac{(M^2-1)(l_t/2)^2}{M^2 c_{am}/f_c}, \frac{1}{\sqrt{\pi}}\left[\frac{3}{2} l_0 l_t^2 (M^2-1)\right]^{1/3}\right\}, \quad (12)$$

где l_t — общая длина траектории как до цели, так и до точки, где локальное число Маха уменьшается до 1,01, м;

$l_0 =$ 1,1 м, (см. [2]);

$\mu_0^2 = 10^{-5}$;

M — число Маха в точке источника;

c_{am} — скорость звука при заданной температуре воздуха [см. формулу (3)], м/с.

Геометрическое затухание в области II рассчитывается по формулам:

$$A_{div,\,II} = 10\lg\left[\frac{r^2 k + r(M^2-1)}{r_0^2 k + r_0(M^2-1)}\right] \text{ для } r < R_{coh}; \quad (13)$$

$$A_{div,\,II} = 10\lg\left[\frac{R_{coh}^2 k + R_{coh}(M^2-1)}{r_0^2 k + r_0(M^2-1)}\right] + 25\lg\left(\frac{r}{R_{coh}}\right) \text{ для } r \geq R_{coh}, \quad (14)$$

где $r = -k/c_{am}$; $r_0 = 1$ м.

В области III геометрическое затухание рассчитывают по формуле

$$A_{div,\,III} = A_{div,II}\ (r = r_1) + 20\lg\left[\frac{\max(r_2, R_0)}{R_0}\right] \text{ для } R_0 = 2 + \frac{r_1}{100}, \quad (15)$$

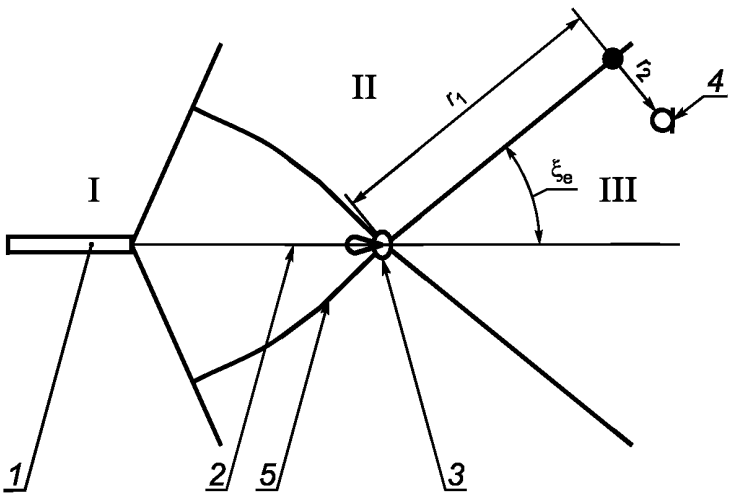
где расстояния r_1 и r_2 показаны на рисунке 4.

Первое слагаемое в формуле (15) есть геометрическое затухание, рассчитанное по формуле (13) или (14) для r_1 — расстояния от цели до проекции точки наблюдения на ближайшую к ней границу областей II и III. Второе слагаемое зависит от расстояния r_2 точки наблюдения до границы областей II и III (см. рисунок 4).

6.2.2 Нелинейное затухание

Если точка наблюдения находится в области II, то затухание за счет нелинейного распространения волн рассчитывают по формуле

$$A_{nlin} = 5\lg\left\{1 + \frac{1}{2}\sqrt{1 + \frac{(M^2-1)}{r_0 k}}\ln\left[\frac{r + \frac{M^2-1}{2k} + \sqrt{r^2 + r\left(\frac{M^2-1}{k}\right)}}{r_0 + \frac{M^2-1}{2k} + \sqrt{r_0^2 + r_0\left(\frac{M^2-1}{k}\right)}}\right]\right\}. \quad (16)$$

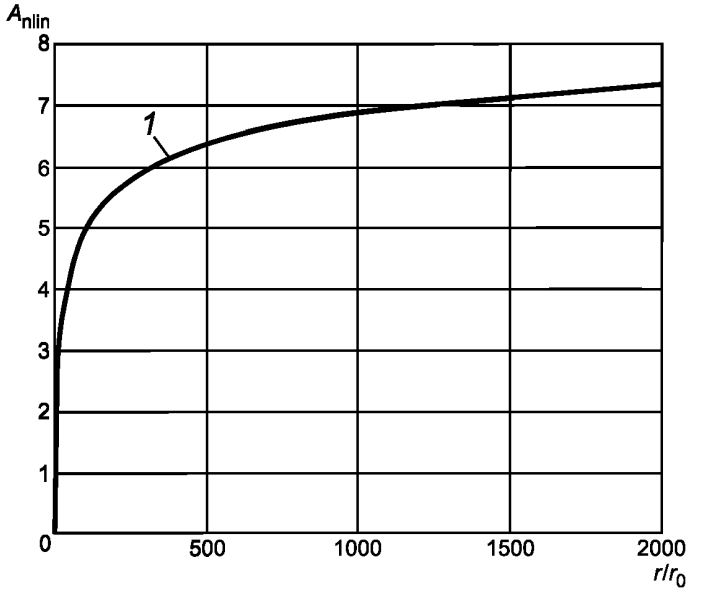


1 — оружие; *2* — траектория пули; *3* — цель; *4* — точка наблюдения; *5* — волновой фронт

Рисунок 4 — Расстояния при точке наблюдения в области III

Если точка наблюдения находится в области III, то нелинейное затухание рассчитывают по формуле (16), но вместо r следует подставить r_1.

Типичная зависимость нелинейного затухания от r показана на рисунке 5.



1 — M = 1,3; r_0 = 1 м; k = 0,8/340 м$^{-1}$; A_{nlin} — нелинейное затухание, дБ*A*;
r — расстояние от точки источника до точки наблюдения, м

Рисунок 5 — Нелинейное ослабление как функция расстояния

6.2.3 Звукопоглощение в атмосфере, дополнительное затухание и влияние препятствий

Затухание $A_{abs}(f_i)$ в 1/3-октавных полосах частот, вызываемое поглощением в атмосфере при распространении звука от точки источника, начиная с расстояния 1 м, рассчитывают по формуле

$$A_{abs}(f_i) = \alpha(f_i) \cdot r, \quad (17)$$

где $\alpha(f_i)$ — коэффициент поглощения в атмосфере чистого тона на среднегеометрической частоте при данных атмосферном давлении, температуре и относительной влажности воздуха (см.), дБ*A*/м.

Примечание — Метод расчета по формуле (17) и ***ГОСТ 31295.1*** не учитывает уширения звукового импульса из-за нелинейных эффектов, вследствие которых спектральные составляющие энергии звука смещаются в область низких частот. Согласно формуле (6) характеристическая частота уменьшается с увеличением расстояния от источника до точки наблюдения обратно пропорционально расстоянию r. Вследствие этого спектр источника будет сдвигаться в область низких частот при увеличении расстояния от источника до точки наблюдения. Поскольку высокочастотные спектральные составляющие существуют вблизи источника звука, то поглощение будет более высоким вблизи него. Тем не менее метод обеспечивает хорошее приближение к действительности, поскольку частотный сдвиг существенен только вблизи источника.

Затухание из-за влияния земли, которое является частью A_{excess}, может быть рассчитано подходящим методом прогнозирования распространения звука в открытом пространстве (например, по ***ГОСТ 31295.2***). Для разных характеристик поверхности земли и метеорологических условий может быть применен метод параболического уравнения [3].

Приближенный расчет влияния препятствий приведен в А.4.

7 Неопределенность результатов расчета

Оценку неопределенности результатов расчета 1/3-октавного спектра уровня звукового воздействия источника рекомендуется производить по [4].

Неопределенность возникает как вследствие неопределенности расчета 1/3-октавного уровня звукового воздействия источника, так и из-за влияния неопределенности различных факторов затухания.

Расширенную неопределенность измерения следует рассчитывать с доверительной вероятностью 95 % согласно [4].

Рекомендации по оценке неопределенности приведены в приложении В.

Приложение А
(справочное)

Вывод констант, учет влияния препятствия и других эффектов

А.1 Общие сведения

Разделы А.2 и А.3 настоящего приложения содержат пояснения к формулам, используемым в расчетах констант. В А.4 рассмотрено влияние препятствий и других эффектов.

А.2 Расчет L_0

При расчете уровня звукового воздействия источника по формуле (5) используют константу L_0, рассчитываемую по формуле:

$$L_0 = 10\lg \frac{2^{5/4} r_0 \rho^2 c^3 K^3 (\pi/4)^{3/2}}{3 p_0^2 \beta^{1/2} t_0}, \quad (А.1)$$

где ρ — плотность воздуха (ρ = 1,24 кг/м^3 при 10 °С);
c — скорость звука [c = 337,6 м/с при 10 °С, см. также формулу (3)];
K — константа, зависящая от формы пули [K = 0,59 для обтекаемой пули — см. [5], [6], [7], а также (А.2)];
p_0 — опорное звуковое давление (p_0 = 20 мкПа);
β — коэффициент нелинейности (β = 1,2 [5]);
t_0 — опорное время для опорного звукового воздействия (t_0 = 1 с);
r_0 = 1 м.

Примечание — Плотность ρ зависит от температуры T, °С, и рассчитывается по формуле ρ = = 1,29/(1 + T/273,15).

При указанных значениях величин L_0 = 161,9 дБ.

Фактор формы K рассчитывают на основе функции Уизема [7] по формуле

$$K^2 = \frac{\sqrt{l_p}}{\pi (d_p/2)^2} \max \left[\int_{-\infty}^{y} F_W(y')dy' \right]. \quad (А.2)$$

Функция Уизема $F_W(y)$ определяется формулой

$$F_W(y) = \frac{1}{2\pi} \int \frac{S''(x)}{\sqrt{y - t}} dt, \quad (А.3)$$

где S''(x) — вторая производная функции $S(x)$ = 1/4 $\pi d^2(x)$, где $d(x)$ — диаметр пули.

Типичная аппроксимация формы пули выражается формулами:

$$d(x) = d_p[1 - (1 - x/l_p)^3] \text{ для } 0 < x < l_p; \quad (А.4)$$

$$d(x) = d_p \text{ для } x > l_p; \quad (А.5)$$

где $d(x)$ — поперечный диаметр пули;
x — расстояние, отсчитываемое от острия пули по оси симметрии.

Используя приведенные формулы, получают оценку для K = 0,59.

А.3 Расчет f_0

Частоту f_0 рассчитывают по формуле

$$f_0 = \frac{c}{2^{7/4} r_0 \beta^{1/2} K \sqrt{\pi/4}}. \quad (А.6)$$

А.4 Влияние препятствий и дополнительных эффектов

А.4.1 Общие положения

В представленной в настоящем стандарте расчетной модели описывается процесс распространения звука пули от точки источника. Эта модель может быть применена в большинстве случаев. Но существуют ситуации, при которых следует учитывать излучение вдоль всей траектории пули и там, где она имеет сверхзвуковую скорость. Большинство возникающих при этом эффектов компенсируют друг друга. Лишь особый участок траектории имеет существенное влияние на результирующий сигнал в точке наблюдения. Этот участок приблизительно симметричен относительно точки источника. Его длина зависит от расстояния до точки наблюдения, продолжительности события и скорости пули.

А.4.2 Границы области II

Если точка источника находится вблизи дула или цели так, что излучение звука пули производится лишь частью траектории, то результат расчета будет превышать действительные уровни звукового воздействия источника на величину до 3 дБ. Используя модель зон Френеля, можно рассчитать длину траектории вокруг точки источника. Уровни звукового воздействия в точке наблюдения начинают значительно уменьшаться, когда длина излучающего участка траектории превышает половину первой зоны Френеля. Необходимая длина источника для половины зоны Френеля может быть рассчитана по формуле

$$FZ_{0,5} \approx \frac{M\sqrt{2cT_C}}{\sqrt{M^2-1}}\sqrt{r}, \qquad (A.7)$$

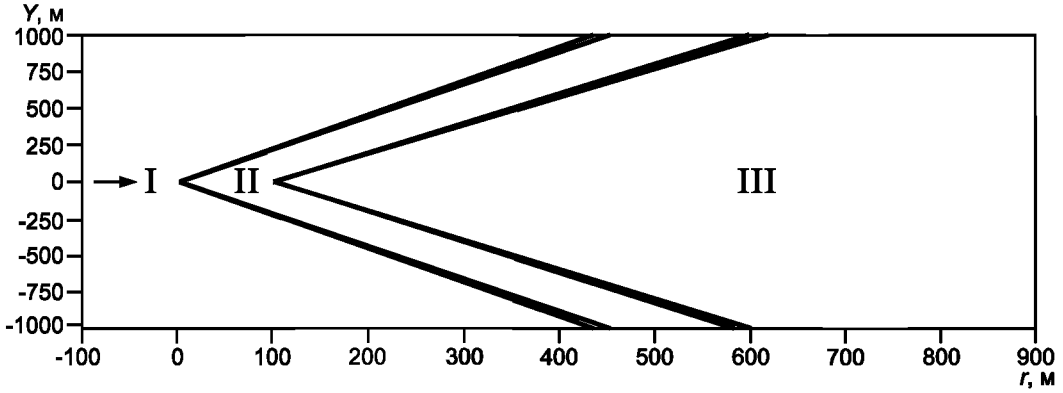
где c — скорость звука в воздухе, м/с;

M — число Маха пули в точке источника;

T_C — длительность N-волны, с;

r — расстояние от точки источника до точки наблюдения, м.

На рисунке А.1 показаны границы области II для типичной ситуации (длина траектории 100 м; v_{p0} = 750 м/с; $\kappa = 1\ с^{-1}$, $T_C = 5 \cdot 10^{-4}$ с).



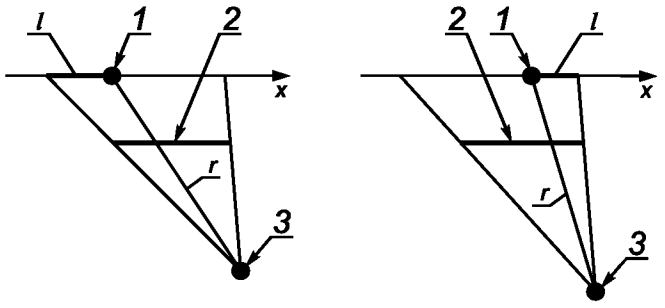
r — расстояние от точки источника до точки наблюдения, м; Y — расстояние от траектории пули до точки наблюдения в горизонтальной плоскости, м

Рисунок А.1 — Границы области II

Для коротких траекторий и точек наблюдения, расположенных на больших расстояниях, точка наблюдения может оказаться на границе области II как вблизи дула, так и вблизи цели. В таких случаях звуковое воздействие значительно превысит расчетное значение, и рассмотренная модель неприменима.

А.4.3 Влияние препятствий

Если на прямом пути от источника до точки наблюдения расположено препятствие, то уровень звукового воздействия определяется звуковыми волнами, огибающими препятствие сверху и с боковых сторон (рисунок А.2).



1 — точка источника; *2* — препятствие; *3* — точка наблюдения

Рисунок А.2 — Экранирующий эффект препятствия

Эффект экранирования может быть приближенно учтен по ***ГОСТ 31295.2*** при условии, что звуковые волны, огибающие препятствие сверху, преобладают над волнами, приходящими с боковых сторон. Выполнение этого условия проверяется по формуле

$$D_{\text{Н}} < 20\lg\left(\frac{1}{\sqrt{n+1}-\sqrt{n}}\right), \qquad \text{(А.8)}$$

где $D_{\text{Н}}$ — затухание от верхней кромки препятствия в соответствии с ***ГОСТ 31295.2***;

n — число затеняемых препятствием зон Френеля, равное

$$n \approx \frac{l^2(M^2-1)}{M^2 c T_c r};$$

l — кратчайшее расстояние от точки источника до первой незатененной точки траектории в направлении выстрела или в противоположном направлении (см. рисунок А.2), м;

c — скорость звука, м/с;

M — число Маха пули в точке источника;

r — расстояние от точки наблюдения до точки источника, м.

Если условие (А.8) не выполняется, то применяют метод по [8].

Приложение В
(справочное)

Рекомендации по оценке неопределенности

В.1 Общие положения

Способ определения неопределенности измерений устанавливается [4]. Он основан на бюджетировании составляющих, обусловленных разными источниками неопределенности. Имея их оценки, может быть определена общая неопределенность измерений. Ниже приведены рекомендации, основанные на известных источниках неопределенности величин, представленных в расчетных моделях по настоящему стандарту.

В.2 Неопределенность 1/3-октавного спектра уровня звукового воздействия

В.2.1 Формула для расчета

1/3-октавный уровень звукового воздействия в точке наблюдения $L_{E,\,r}(f_i)$ рассчитывают по формуле

$$L_{E,\,r}(f_i) = L_{E,S}(f_i) - A_{div} - A_{nlin} - A_{atm}(f_i) - A_{excess}(f_i), \quad (B.1)$$

где $L_{E,\,S}(f_i)$ — 1/3-октавный уровень звукового воздействия на среднегеометрической частоте f_i на расстоянии 1 м от точки источника [см. формулу (7)], дБ*А*;

A_{div} — коррекция на расхождение фронта сферической волны, дБ*А*;

A_{nlin} — коррекция на влияние нелинейных эффектов, связанных с большим звуковым давлением вблизи точки источника, дБ*А*;

$A_{atm}(f_i)$ — коррекция на звукопоглощение в воздухе, дБ*А*;

$A_{excess}(f_i)$ — коррекция, учитывающая взаимодействие звука с поверхностью земли, атмосферной рефракцией и экранированием препятствием, дБ*А*.

Каждой величине приписывают какое-либо распределение вероятности [нормальное, прямоугольное, *t*-распределение (распределение Стьюдента) и т.д.]. Математическое ожидание (среднее значение) является наилучшей оценкой величины, а ее стандартное отклонение характеризует ее разброс (называемый стандартной неопределенностью). Неопределенность измерений каждой из величин формулы (В.1) дает вклад в общую неопределенность.

В.2.2 Составляющие неопределенности прогноза

Вклады в общую неопределенность измерений зависят от частных неопределенностей и соответствующих коэффициентов чувствительности c_i. Коэффициенты чувствительности являются мерой влияния изменений соответствующих величин на значения 1/3-октавного спектра уровня звукового воздействия. Математически они равны частной производной от функции, выражающей зависимость определяемой величины по влияющей на нее величине. Вклад влияющей величины определяется произведением стандартной неопределенности и коэффициента чувствительности определяемой величины к изменениям влияющей величины. Информация, необходимая для определения общей неопределенности измерений, приведена в таблице В.1.

Т а б л и ц а В.1 — Бюджет неопределенности для 1/3-октавного спектра уровня звукового воздействия

Величина	Оценка[a], дБ*А*	Стандартная неопределенность[1] u_i, дБ*А*	Вероятностное распределение	Коэффициент чувствительности c_i	Вклад в неопределенность $c_i u_i$, дБ*А*
$L_{E,\,S}(f_i)$	$L_{E,\,S,\,est}(f_i)$	u_1[2]		1	u_1
A_{div}	$A_{div,\,est}$	u_2[3]		1	u_2
A_{nlin}	$A_{nlin,\,est}$	u_3[3]		1	u_3
$A_{atm}(f_i)$	$A_{atm,\,est}(f_i)$	u_4[3]		1	u_4
$A_{excess}(f_i)$	$A_{excess,\,est}(f_i)$	u_5[4]		1	u_5

[1] Оценка, распределение вероятностей и соответствующее стандартное отклонение должны определяться для каждой величины на основе доступной информации или по соответствующему соглашению.

[2] Стандартная неопределенность $L_{E,S,est}(f_i)$ менее 1 дБ*А*.

[3] По сравнению со стандартной неопределенностью $A_{express}$ неопределенности других коррекций пренебрежимо малы.

[4] Стандартная неопределенность $A_{excess}(f_i)$ может быть найдена с помощью ***ГОСТ 31295.2***.

В.2.3 Общая и расширенная неопределенность прогноза

Общую неопределенность 1/3-октавного спектра уровня звукового воздействия $u[L_{E,\,r}(f_i)]$ рассчитывают по формуле

$$u\,[L_{E,\,r}(f_i)] = \sqrt{\sum_{i=1}^{5} u_i^2}. \qquad (B.2)$$

В соответствии с [4] расширенную неопределенность U определяют из условия, что действительное значение $L_{E,\,r}(f_i)$ покрывается интервалом $[L_{E,\,r}(f_i) - U,\ L_{E,\,r}(f_i) + U]$ с доверительной вероятностью 95 %. Расширенную неопределенность измерений рассчитывают по формуле $U = ku$, где k — коэффициент покрытия, соответствующий требуемой доверительной вероятности.

Т а б л и ц а В.2 — Коэффициенты покрытия для различных значений вероятности покрытия

Вероятность покрытия при нормальном распределении, %	Коэффициент покрытия
67	1,0
80	1,3
90	1,6
95	2,0
99,9	2,6

Приложение ДА
(справочное)

Технические отклонения настоящего стандарта от примененного в нем международного стандарта ИСО 17201-4:2006

Настоящий стандарт имеет следующие технические отклонения от примененного в нем международного стандарта ИСО 17201-4:

ДА.1 Раздел 2 в соответствии с требованиями ГОСТ Р 1.5—2004 дополнен стандартами ГОСТ Р 53570—2009, ГОСТ 31295.1—2005, ГОСТ 31295.2—2005 взамен соответствующих международных стандартов, на которые имеются ссылки в тексте примененного международного стандарта.

ДА.2 В структурном элементе «Библиография» добавлено руководство ISO/IEC Guide 98-3:2008, на которое имеются ссылки в тексте стандарта, остальные источники приведены в порядке упоминания в тексте.

ДА.3 В терминологических статьях исключены примечания, содержащие пояснения относительно единиц измерений определяемых величин и их обозначений. В соответствии с ГОСТ Р 1.5—2004 обозначения единиц измерений величин приведены после термина.

ДА.4 Нумерация терминологической статьи с 3.10 изменена на 3.9 с целью определения термина «точка источника» до его первого употребления.

ДА.5 Исключено примечание к термину «скорость пули», как не связанное с данным термином. Примечание имеет следующую редакцию:

«Примечание — Опубликованные данные относительно скорости пули в зависимости от расстояния связаны с плотностью воздуха над уровнем моря. При изменении высоты над уровнем моря следует учесть изменение плотности воздуха».

ДА.6 Библиографические источники приведены в порядке их упоминания в тексте стандарта.

Библиография

[1] BERG, F.H.A., van den. Validation of a computational model for projectile sound, TNO report DGT-RPT-030078, 2004

[2] SALOMONS, E.M., A coherent line source in a turbulent atmosphere, Journal of the Acoustical Society of America, 105 (2), pp. 652—657, 1999

[3] GILBERT, K.E., and WHITE, M.J., Application of the parabolic equation to sound propagation in a refracting atmosphere, Journal of the Acoustical Society of America, 85, pp. 630—637, 1989

[4] ISO/IEC Guide 98-3:2008 Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)

[5] PIERCE, A.D., Acoustics. An Introduction to its Physical Principles and Applications, American Institute of Physics, College Park Maryland, USA, 1991

[6] WHITHAM, G.B., The Flow Pattern of a Supersonic Projectile, Communications on Pure and Applied Mathematics, 5, pp. 301—348, 1952

[7] WHITHAM, G.B., On the propagation of Weak Shock Waves, J. Fluid Mech., 1, pp. 290—318, 1956

[8] WUNDERLI, J.M., Shielding effect for sonic boom of projectiles, acta acustica/ACUSTICA, Vol. 87, pp. 91—100, 2001

УДК 534.322.3.08:006.354 ОКС 17.140.20 Т34

Ключевые слова: звук пули, 1/3-октавный спектр звукового воздействия, затухание при распространении, число Маха, огнестрельное оружие, стрельбище.

Редактор *Б.Н. Колесов*
Технический редактор *Н.С. Гришанова*
Корректор *М.В. Бучная*
Компьютерная верстка *А.Н. Золотаревой*

Сдано в набор 25.10.2010. Подписано в печать 11.11.2010. Формат 60 × 84 1/8. Бумага офсетная. Гарнитура Ариал.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 1,60. Тираж 82 экз. Зак. 901.

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru
Набрано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» на ПЭВМ.
Отпечатано в филиале ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» — тип. «Московский печатник», 105062 Москва, Лялин пер., 6.

gost.e-ecolog.ru