

## Расчёт внешнего шум поездов

Куклин Д.А.<sup>1</sup>, Матвеев П.В.<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Доцент, к.т.н., Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. д. Ф. Устинова, Россия, г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Ст. преподаватель, к.т.н., Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. д. Ф. Устинова, Россия, г. Санкт-Петербург

### Аннотация

В статье предлагаются методы расчета шума, создаваемого железнодорожным транспортом на селитебной территории, прилегающей к железнодорожным путям, с учетом шумовых характеристик потоков железнодорожного транспорта, интенсивности движения поездов и других условий, оказывающих влияние на распространение звука на местности.

Шумовые характеристики отдельных поездов определяются в зависимости от категории и длины поезда, скорости и интенсивности движения.

Расчет шума производится, исходя из шумовых характеристик потоков железнодорожного транспорта с учетом снижения шума на пути распространения, в том числе за счет геометрического расхождения (дивергенции) при поглощении звука атмосферой, поверхностью грунта, ограничения угла видимости, затухания звука в жилой застройке, влияния экранирующих сооружений и зеленых насаждений, отражения звука от зданий

**Ключевые слова:** методы расчёта шума, железнодорожный транспорт, категория поездов, линейный источник шума, уровень звука, максимальный уровень звука.

### *Analysis of trains external noise*

*Dennis Kuklin<sup>1</sup>, Peter Matveev<sup>2\*</sup>*

<sup>1</sup> Associate professor, Baltic State Technical University «VOENMEH» named after D.F. Ustinov, Saint-Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Senior lecturer, Baltic State Technical University «VOENMEH» named after D.F. Ustinov, Saint-Petersburg, Russia

### **Abstract**

*This article briefly reviews of methods of analysis of noise from railway transport in the residential area, on the territory adjacent to the railroad lines. In the methods of analyses takes includes the noise characteristics of the flows of the railway traffic, the intensity of traffic and other conditions that affect sound overland propagation.*

*Characteristics of the noise trains are determined by category and length of trains, speed and intensity of movement. And as determined by the characteristics of the noise of railway transport flows taking into account noise control along the path of expansion, including due to the divergence in the absorption of sound by the atmosphere, the surface of the soil, the limitation of the angle of visibility, attenuation of sound in residential areas, the shielding effect of buildings and green planting, noise reflections from buildings.*

**Key words:** noise analysis, railway transport, type of train, line noise source, sound level, ceiling sound level.

### **Введение**

Анализируя процессы шумообразования поездов, можно выделить три основные группы:

- шум оборудования;
- шум качения;

---

\* E-mail: kda1969@mail.ru (Д.А. Куклин), infopeter@ya.ru (П.В. Матвеев)

– аэродинамический шум.

Интенсивность шума зависит в основном от скорости.

Шум оборудования (компрессоры, тяговые электродвигатели и др.) превалирует на скоростях до 50-60 км/ч. Шум качения – процесс соударения в системе «колесо – рельс» определяется зависимостью  $30 \lg v$  ( $v$  – скорость движения, км/ч) и превалирует в диапазоне скоростей 60-300 км/час. Аэродинамический шум, образованный обтеканием воздухом корпуса подвижного состава, пантографа и др. определяется зависимостью  $60 \lg v$  и превалирует на скоростях свыше 300 км/ч.

Определенный вклад в процессы шумообразования дают такие процессы как дребезжание корпуса подвижного состава (корпусной шум), «визг» колеса в кривых, звукоизлучение тормозных колодок и колеса при торможении (шум торможения), соударение вагонов (шум сцепки), отражение звука при установке рельсов на плитах, удары на стыках рельсов и др.

Все процессы шумообразования в данной работе сведены в удобные формульные зависимости для расчёта внешнего шума поездов. Все зависимости получены на основании экспериментальных данных и поэтому хорошо сходятся с практическими измерениями.

### 1. Расчет эквивалентного уровня звука поездов

В работах [1] и [2] предложено выражение для расчёта уровня звукового давления для обычного поезда. Оно основано на модели акустического диполя и имеет вид:

$$L = L_G + 10 \lg \left( \frac{A}{4N} \right) - 20 \lg \left( \frac{l_C}{26.4} \right) + C_s \lg \left( \frac{U_0}{120} \right), \quad (1)$$

где  $A$  – среднее значение осей на вагон,  $N$  – число вагонов,  $l_C$  – длина вагона (м),  $U_0$  – скорость поезда (км/ч),  $C_s$  – множитель при скоростном члене,  $L_G$  – член, описывающий геометрическое затухание.

$L_G$  может быть вычислен интегрированием по непрерывной области распространения акустических диполей и даётся выражением

$$L_G = 10 \lg [2\beta \cdot \arctan \beta + \beta \cdot \sin(2 \arctan \beta)] + 83, \quad (2)$$

где  $\beta = \frac{l}{2d}$ ,  $d$  – расстояние от края путей (м),  $l$  – длина поезда (м).

Множитель при скоростном члене приблизительно равен 30-40 для большинства европейских пассажирских поездов, 20 – для японских высокоскоростных, что доказывает зависимость звука от скорости поезда [3] и [4].

При рассмотрении поезда в виде множества точечных источников шума средняя величина квадрата звукового давления вычисляется по формуле

$$p^2 = \frac{A \rho c W}{\pi D l_v^2 N} \operatorname{arctg} \frac{1}{2D}, \quad (3)$$

где  $D = dl_v$ ,  $d$  – расстояние между наблюдателем и источником шума, м;

$N$  – число одинаковых вагонов;

$A$  – число осей (пар колёс) у вагона,

$l_v$  – длина вагона, м,

$W$  – мощность, излучаемая линейным источником шума длиной  $l_v$  (Вт).

Шум от контакта колеса с рельсом моделируется точечным источником. Все точечные источники лежат на одной линии, поэтому поезд моделируют линейным источником, состоящим из множества некогерентных точечных. Тогда уровень звукового давления  $L$ , отнесённый на  $2 \cdot 10^{-5}$  Па, вычисляется по формуле

$$L = 10 \lg \frac{W}{10^{-12}} + 10 \lg \left( \frac{1}{D} \arctan \frac{1}{2D} \right) - 20 \lg l_v + 10 \lg \frac{A}{N} - 5 \text{ дБ}, \quad (4)$$

Предлагаемая модель распространения звука позволяет оценить уровень звука с точностью 95% (погрешность в пределах 5 дБ) по методу определения уровня шума  $L = \bar{L} + k\sigma$  (испытания проводили в свободном акустическом поле).

Если вместо  $W$  использовать экспериментальные данные, соответствующие по ГОСТ 20444-85 [4] значениям уровня звука на расстоянии 25 м от колеи пути, то формула может быть записана в виде

$$L = L_{25} - 10 \lg \left( \frac{\arctg(l_v / 50)}{25} \right) + 10 \lg \left( \frac{\arctg(l_v / 2r)}{r} \right) \quad (5)$$

Математическое моделирование распространения звуковых волн включает в себя совместное рассмотрение уравнения движения, состояния и непрерывности. Как правило, задача сводится к дифференциальному уравнению в частных производных – уравнению распространения звуковой волны.

В этой работе приняты следующие допущения:

- высота источника шума над землёй – 1 м;
- цилиндрическая форма суммарного фронта звуковой волны.

Известное уравнение распространения звуковых волн сводится к уравнению распространения квазицилиндрических волн, т.е. таких волн, уровень звукового давления в которых снижается на каждое удвоение расстояния в пределах от 3 до 6 дБ. Решение волнового уравнения для таких волн представлено в формуле (6):

$$p(r, t) = \frac{2}{l} \Gamma \left( \frac{n+1}{2} \right) r^{\frac{1-n}{2}} \sum_{x=1}^{+\infty} \left( \frac{\tau\pi}{2cl} \right)^{\frac{1-n}{2}} J_{\frac{n-1}{2}} \left( \frac{\tau\pi}{cl} r \right) \left( \int_0^l f(t) \sin \frac{\tau\pi}{l} t dt \right) \sin \frac{\tau\pi}{l} t \quad (6)$$

где  $\Gamma$  – гамма-функция;

$J_{\frac{n-1}{2}}$  – функция Бесселя полуцелого порядка;

$c$  – скорость распространения звука, м/с;

$r \in [0; +\infty)$  – расстояние до транспортного потока, м;

$t \in [0; +\infty)$  – время излучения звука, с;

$l$  – полупериод функции, задающей звуковое давление  $p(r, t)$  на поверхности источника в любой момент времени  $t$ .

$1 \leq n \leq 2$ , при этом при  $n = 1$  получаются цилиндрические волны, при  $n = 2$  сферические.

После упрощения и перехода от звукового давления к уровням звукового давления выражение для уровня звукового давления квазицилиндрической волны:

$$L(r) = L(r_0) + 10(n-1) \lg \frac{r_0}{r} + 20 \lg \left| \frac{J_{\frac{n-1}{2}} \left( \frac{\omega}{c} r \right)}{J_{\frac{n-1}{2}} \left( \frac{\omega}{c} r_0 \right)} \right| \quad (7)$$

Отмечается, что данная формула дает строгую физическую картину дефинированной квазицилиндрической волны при соответствующих условиях.

В работе [5] при моделировании распространения шума учтено геометрическое расхождение и эффект влияния земли. Получено выражение для уровня звукового воздействия, определяемого в виде  $L_{AE} = 10 \lg \frac{E}{p_0^2 t_0}$ , где  $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Па,  $t_0 = 1$  с. Звуковое воздействие для поездов,двигающихся с постоянной скоростью  $v$  вдоль оси  $Ox$  на расстоянии  $d$  от оси, вычисляется по формуле

$$E = \frac{dl}{Vl_0} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} \frac{p_A^2(\Phi)}{\cos^2 \Phi} d\Phi, \quad (8)$$

где  $\Phi = \arctg \frac{Vt}{d}$

Формула для расчета уровня звукового давления:

$$L_p = L_{WA} - 10 \lg d - 8 + 10 \lg \left( 2 \arctg \frac{l}{2d} \right), \quad (9)$$

где  $L_{WA}$  – удельная скорректированная звуковая мощность, Вт/м;

$d$  – расстояние от источника звука до расчетной точки, м.

В результате выражение для максимального уровня звука на расстоянии  $d = 25$  м:

$$L_{pAmax,25} = L_{WA} + 10 \lg \left( \arctg \frac{l}{50} \right) - 19, \quad (10)$$

Принимая скорость движения линейного источника  $v$ , км/ч, для эквивалентной скорректированной интенсивности звука в течение интервала наблюдения  $T = l/v$ , с, равного времени прохождения источника мимо точки наблюдения, удаленной от источника на расстояние  $d$ , м [6], получаем выражение:

$$I_{Aeq} = \frac{v}{l} \int_0^{l/v} \int_0^l \frac{W_A}{2\pi((x-vt)^2 + d^2)} dx dt = \frac{W_A}{\pi d} \left( \frac{l}{d} \arctg \frac{l}{d} - \frac{1}{2} \ln \left( \left( \frac{l}{d} \right)^2 + 1 \right) \right), \quad (11)$$

В результате для эквивалентного уровня звука на расстоянии  $d = 25$  м от источника получаем [7]:

$$L_{pAeq,25} = 10 \lg W_A + 10 \lg \left( \arctg \frac{l}{25} - \frac{12,5}{l} \ln \left( \left( \frac{l}{25} \right)^2 + 1 \right) \right) - 19 \quad (12)$$

Основным источником шума поездов, движущихся со скоростью менее 250 км/ч, является шум качения, порождаемый соударениями колесо-рельс. На значение удельной звуковой мощности  $W_A$  в этом случае влияют следующие параметры [8]:

- скорость движения поезда  $v$ ,
- инерционные характеристики колеса, жесткостные и поглощающие характеристики колеса и рельса,
- шероховатость рельса [9] и другие.

Предполагая зависимость от скорости  $v$  доминирующей, аппроксимируем удельную звуковую мощность  $W_A$  регрессионным уравнением:

$$L_{WA} = a \lg v + b \quad (13)$$

Подставляя соотношение (5) в расчетные формулы для шумовых характеристик (2) и (4) и включая значение свободного члена в значение введенных параметров  $b_1$  и  $b_2$ , получаем следующие выражения:

$$L_{pAmax,25} = a_1 \lg v + b_1 + 10 \lg \left( \arctg \frac{l}{50} \right), \quad (14)$$

$$L_{pAeq,25} = a_2 \lg v + b_2 + 10 \lg \left( \operatorname{arctg} \frac{l}{25} - \frac{12,5}{l} \ln \left( \left( \frac{l}{25} \right)^2 + 1 \right) \right), \quad (15)$$

где -  $a_1, a_2, b_1, b_2$  - параметры, подлежащие определению.

Формулы (16) – (19) получены по расчетам линейной регрессии для результатов измерений шума при прохождении большого числа (больше ста) пассажирских поездов длиной от 175 м до 500 м, грузовых поездов длиной от 506 м до 1188 м, более 150 электропоездов длиной от 176 м до 264 м и 37 высокоскоростных поездов длиной 250 м.

Звуковые сигналы применяют на железнодорожном транспорте только в случае необходимости предотвращения аварийной ситуации, поэтому учитывать данный источник для расчета эквивалентного уровня звука нецелесообразно.

Эквивалентный уровень звука  $L'_{Aeq25}$ , создаваемый отдельными поездами  $i$ -ой категории (1-пассажирские, 2-грузовые, 3-моторвагонные, 4-скоростные поезда) на расстоянии 25 м от оси ближнего магистрального железнодорожного пути, рассчитывают по формулам (рис. 1)

для пассажирских поездов (категория 1)

$$L_{Aeq25}^1 = 25,3 \lg v_1 + 10 \lg \left\{ \operatorname{arctg} \left( \frac{l_1}{25} \right) \right\} + 33,3 \quad (16)$$

для грузовых поездов (категория 2)

$$L_{Aeq25}^2 = 20,4 \lg v_2 + 10 \lg \left\{ \operatorname{arctg} \left( \frac{l_2}{25} \right) \right\} + 46 \quad (17)$$

для моторвагонных электропоездов (категория 3)

$$L_{Aeq25}^3 = 28,9 \lg v_3 + 10 \lg \left\{ \operatorname{arctg} \left( \frac{l_3}{25} \right) \right\} + 28 \quad (18)$$

для высокоскоростных поездов (категория 4)

$$L_{Aeq25}^4 = 41,1 \lg v_4 + 10 \lg \left\{ \operatorname{arctg} \left( \frac{l_4}{25} \right) \right\} - 12,3 \quad (19)$$

где  $v_i$  – скорость движения поезда  $i$ -ой категории, км/ч;

$l_i$  – длина поезда  $i$ -ой категории, м;

$i = 1, 2, 3, 4$ .

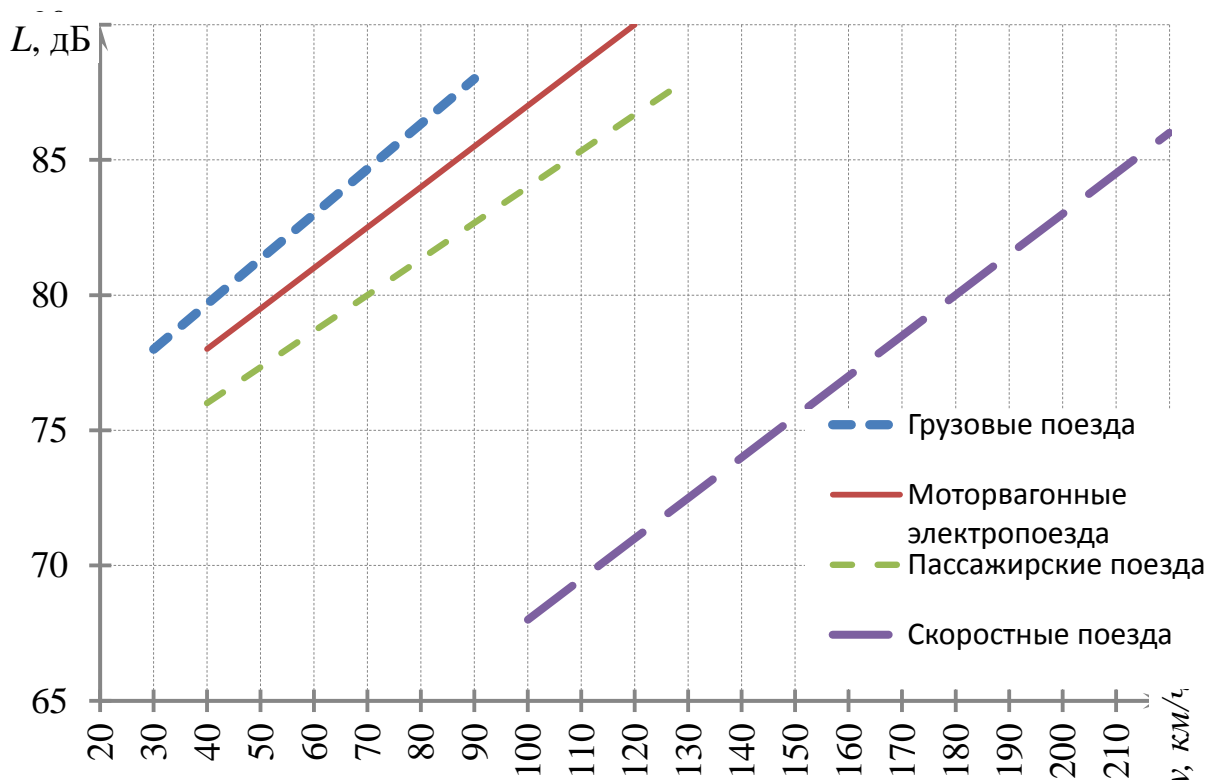


Рис. 1. Зависимость внешнего шума поезда (эквивалентного уровня)  $i$ -й категории от скорости

Коэффициент корреляции, показывающий меру линейной зависимости между значениями:

$$y_j = L_{Aeq25j}^i - 10 \lg \left( \frac{\arctg\left(\frac{l_j}{25}\right)}{(25\pi)} \right), \quad (19.2)$$

$x_j = 10 \cdot \lg v_j$  и  $j = 1, \dots, n_i$  ( $n_i$  — указанное выше число испытанных поездов  $i$ -ой категории), составил для пассажирских поездов 0,78, для грузовых поездов 0,74, для электропоездов 0,71, для высокоскоростных поездов 0,98. Зависимость от длины поезда получена аналитически для модели поезда в виде линейного источника длиной  $l$  с равномерным распределением вдоль  $m$  синфазных точечных источников одинаковой производительности.

Для учета характера пути и движения поезда с переменной скоростью к рассчитанным по формулам (16) – (19) значениям  $L_{Aeq25}^i$  прибавляют следующие коррекции:

- $\Delta L_{путь}$  — коррекция на тип пути, наличие стыков и стрелок, дБА;
- $\Delta L_{кр}$  — коррекция при наличии кривых участков пути, дБА;
- $\Delta L_y$  — коррекция на ускорение, дБА;
- $\Delta L_m$  — коррекция на торможение, дБА;
- $\Delta L_{мост}$  — коррекция при прохождении поезда по мосту, дБА.

Часовой эквивалентный уровень звука  $L_{Aeq,1h,k}^i$  потока поездов  $i$ -ой категории, прошедших по рассматриваемому участку пути в течение  $k$ -го часа, рассчитывают по формуле:

$$L_{Aeq,1h,k}^i = 10 \lg \frac{1}{3600} \sum_{j=1}^{n_i} t_{jk} 10^{0,1L_{Aeq,25,jk}^i} \quad (20)$$

где  $L_{Aeq,jk}^i$  – эквивалентный уровень звука, дБА, создаваемый на расстоянии 25 м от оси ближнего магистрального железнодорожного пути  $j$ -м поездом  $i$ -ой категории, проходящим в течение  $k$ -го часа;

$n_i$  – число поездов  $i$ -ой категории, проходящих по рассматриваемому участку пути, в течение  $k$ -го часа;

$t_{jk}$  – время следования каждого поезда по рассматриваемому участку пути в течение  $k$ -го часа, с.

Часовой эквивалентный уровень звука  $L_{Aeq,25,1h,k}$ , создаваемый на расстоянии 25 м от оси ближнего магистрального железнодорожного пути потоками поездов железнодорожного транспорта всех категорий, прошедших по рассматриваемому участку пути в течение  $k$ -го часа, определяется по формуле:

$$L_{Aeq,25,1h,k} = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{Aeq,25,1h,k}^i} \quad (21)$$

Эквивалентный уровень звука  $L_{Aeq,25,k}$  за время оценки (16 ч днем и 8 ч ночью) рассчитывают по формуле:

$$L_{Aeq,25,k} = 10 \lg \frac{1}{T_k} \sum_{l=1}^{n_k} t_k 10^{0,1L_{Aeq,25,1h,k}^l}, \quad (22)$$

где  $T_k$  – время оценки, ч, принимаемое равным 16 ч ( $n_k = 16$ ) для дня и 8 ч ( $n_k = 8$ ) для ночи;

$t_k = 1$  ч.

## 2. Расчет максимального уровня звука

В качестве модели источника звука, создающего максимальные уровни шума поезда, принимаем точечный источник, расположенный в месте возникновения сигналов, поскольку практика измерений показывает, что максимальные уровни не накапливаются, а имеют мгновенные значения.

Зависимость от длины поезда получена аналитически для модели поезда в виде линейного источника длиной  $l$  с равномерным распределением вдоль  $m$  синфазных точечных источников одинаковой производительности.

В приведенных зависимостях учтена частотная коррекция А уровня звукового давления на частоте сигнала 500 Гц, равная минус 3,2 дБ, и снижение уровня звукового давления с расстоянием, равное минус 14 дБ.

Максимальный уровень звука  $L_{Amax,25}^i$ , создаваемый поездами различных категорий на расстоянии 25 м от оси ближнего пути, рассчитывают по формулам (рис. 2):

– для пассажирских поездов (категория 1)

$$L_{Amax,25}^1 = 24 \lg v_1 + 42,6 \quad (23)$$

– для грузовых поездов (категория 2)

$$L_{Amax,25}^2 = 15 \lg v_2 + 61,7 \quad (24)$$

– для электропоездов (категория 3)

$$L_{A_{\max 25}}^3 = 27,1 \lg v_3 + 37,2 \quad (25)$$

– для высокоскоростных поездов (категория 4)

$$L_{A_{\max 25}}^4 = 45,1 \lg v_4 - 17,8 \quad (26)$$

где  $v_i$  – скорость движения поезда  $i$ -ой категории, км/ч;  
 $i = 1,2,3,4$ .

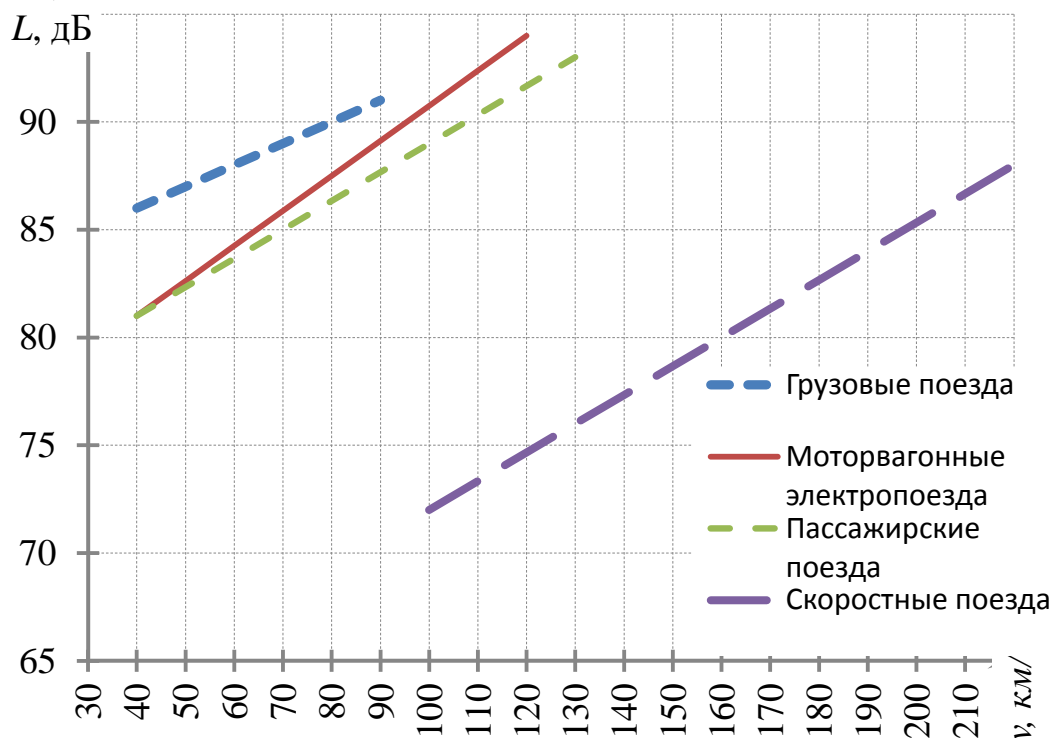


Рис. 2 Зависимость максимального уровня звука от скорости поезда  $i$ -й категории

В случае если расчетные значения максимального уровня звука  $L_{A_{\max 25,k}}$  больше значений эквивалентного уровня звука  $L_{A_{eq 25,k}}$  более чем на 15 дБА, значения максимальных уровней принимаем, как  $L_{A_{\max 25,k}} = L_{A_{eq 25,k}} + 15$ .

За максимальный уровень звука потока поездов, следующего по рассматриваемому участку пути, за время оценки (16 ч днем и 8 ч ночью) принимают наибольшее из средних максимальных уровней, рассчитанных по формуле:

$$\bar{L}_{RA_{\max 25}}^{pd,i} = 10 \lg \left( \frac{1}{n_i^k} \sum_{j=1}^{n_i^k} 10^{L_{A_{\max j}}^{k,i} / 10} \right), \quad pd = \text{день, ночь}, \quad (27)$$

где  $L_{A_{\max j}}^k$  – максимальный уровень звука (дБА), рассчитанный по формулам (23)

- (26) при проходе  $j$ -го поезда  $i$ -й категории в  $pd$ -м интервале оценки (день, ночь);

$n_i^k$  – число проходов поездов  $i$ -го типа, в  $pd$ -м интервале оценки, для измерений.



$$L_{Amax\ 25,k} = \max_i \left\{ L_{Amax\ 25}^{k,i} \right\} \quad (28)$$

### 3. Расчет эквивалентных уровней звукового давления в октавных полосах частот

Эквивалентные уровни звукового давления  $L_{eq25}^i$ , дБ, в октавных полосах частот на расстоянии 25 м от оси ближнего магистрального железнодорожного пути для поездов  $i$ -ой категории ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) определяют путем сложения соответствующего эквивалентного уровня звука  $L_{Aeq25}^i$ , дБА, рассчитанного, как в подразделе 1, со значениями относительных спектров, приведенными в таб. 1 (рис. 3).

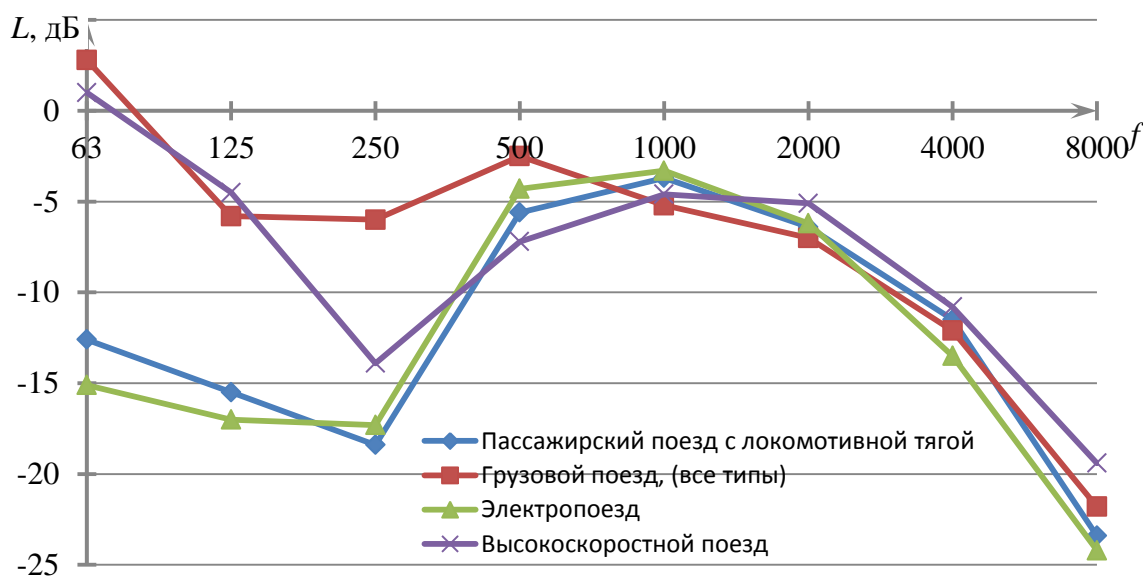


Рис.3. Относительные спектры шума для поездов  $i$ -й категории

Таблица 1

Относительные спектры шума железнодорожного транспорта

Источник шума	Относительная частотная характеристика, дБ, при среднегеометрических частотах октавной полосы, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Пассажирский поезд с локомотивной тягой	12,6	15,5	18,4	5,6	3,7	6,4	11,5	23,4
Грузовой поезд, (все типы)	2,8	5,8	6,0	2,5	5,2	7,0	12,1	21,8
Электропоезд	15,1	17,0	17,3	4,3	3,3	6,2	13,5	24,2
Высокоскоростной поезд	1,0	4,5	13,9	7,2	4,6	5,1	10,8	19,4

Часовые эквивалентные октавные уровни звукового давления  $L_{eq25,1h}$  потоков железнодорожного транспорта и эквивалентные уровни звукового давления  $L_{eq25,k}$  за время оценки рассчитываются соответственно по формулам (20) - (22) с заменой в них эквивалентных уровней звука на соответствующие уровни звукового давления.

#### 4. Корректирующие коэффициенты, учитываемые при расчетах

*Коррекцию на тип пути, наличие стыков и стрелок*

Коррекцию на тип пути, наличие стыков и стрелок определяют по формуле:

$$\Delta L_{\text{путь}} = \Delta L_{\text{п}} - 10 \cdot \lg(1 - f), \quad (29)$$

где  $\Delta L_{\text{п}}$  – коррекция на тип пути, принимаемая по табл. 2;

$f$  – параметр, учитывающий наличие стыков и стрелок, определяемый по табл. 3.

Таблица 2

Коррекции на тип пути

Тип пути	Коррекция $\Delta L_{\text{п}}$ , дБА
Путь с бетонными шпалами	0
Путь с деревянными шпалами	минус 2
Путь на бетонных плитах	3

Таблица 3

Параметр, учитывающий наличие стыков и стрелок

Конструкция пути	$f$
Путь без стыков, стрелок и пересечений	0
Путь со стыками, одиночная стрелка	1/30
2 стрелки на 100 м	6/100
Более 2 стрелок на 100 м	8/100

*Коррекция при прохождении кривых участков пути*

Коррекцию на прохождение кривых участков пути  $\Delta L_{\text{кр}}$  следует принимать в зависимости от радиуса кривизны проходимого участка:

- на кривых участках пути с радиусом от 500 м  $\Delta L_{\text{кр}} = 0$  дБА;
- на кривых участках пути с радиусом от 300 до 500 м  $\Delta L_{\text{кр}} = 3$  дБА;
- на кривых участках пути с радиусом менее 300 м  $\Delta L_{\text{кр}} = 8$  дБА.

*Корректирующие коэффициенты на торможение и тип мостов*

На участках, где происходит торможение, коррекция  $\Delta L_{\text{т}}$ , определяется по табл. 4 в зависимости от категории поезда.

Таблица 4

Коррекция при торможении поезда

Категория поезда	Коррекция при торможении $\Delta L_{\text{т}}$ , дБА
Пассажирский поезд с локомотивной тягой (категория 1)	10
Грузовой поезд (категория 2)	12
Моторвагонный электропоезд (категория 3)	10
Высокоскоростной поезд (категория 4)	0

При проходе по мосту уровни шума, генерируемые поездом, выше, чем при проходе по обычному пути. Увеличение уровня шума зависит от типа моста и пути.

Коррекцию  $\Delta L_{\text{мост}}$  при прохождении поезда по мосту принимаем на основе эмпирических поправок по таблице 5.

Таблица 5

Коррекция на тип моста

Тип моста	Коррекция, дБА
Стальной мост	10
Стальной мост с балластным слоем	5
Бетонный мост с балластным слоем и подбалластным матом	0

### Заключение

Поскольку полученные зависимости были получены на основании экспериментальных данных в результате обработки характеристик шума большого количества поездов (более 1000), то полученные зависимости имеют хорошее приближение к реальным экспериментальным значениям.

Таким образом, получаем расчётные зависимости пригодные для расчёта внешнего шума поездов в расчётной точке в виде зависимостей для эквивалентного уровня звука, для максимального уровня звука, а так же для уровней звукового давления. Для уточнения расчётных характеристик на особенности пути (стыки, стрелки, радиусы, торможение и т.п.) вводятся корректирующие поправки, полученные экспериментальным путём. Результаты данной работы были использованы при подготовке ГОСТ Р 54933 Шум. Методы расчета уровней внешнего шума, излучаемого железнодорожным транспортом.

### Список литературы

1. Peters, S. The prediction of railway noise profiles. – J. Sound Vib., 32, p. 87-99 (1974)
2. Cato, D.H. Prediction of environmental noise from fast electric trains. – J. Sound Vib., 46, p. 483-500 (1976).
3. Peters, S., Hemsworth, N. and Woodward, B. Noise radiation by a railway rail. – J. Sound Vib., 35, p. 146-150 (1974)
4. ГОСТ 20444-85. Шум. Транспортные потоки. Методы измерения шумовой характеристики. М.: Изд-во стандартов, 1994. – 20с.
5. Makarewicz, R., Koga, J.-I. and Tonda, S. Ground Effects on Railway Bridge Noise. – J. Acoust. Soc. Jpn. (E), 20, 4 (1999).
6. Иванов Н.И., Куклин Д.А., Матвеев П.В., Олейников А.Ю. Снижение шума подвижного состава железнодорожного транспорта в источнике образования на пути распространения // Защита от повышенного шума и вибрации: доклады V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Россия, Санкт-Петербург, 18-20 марта 2015 г.) / под ред. Н.И. Иванова — Санкт-Петербург : Изд-во «Айсинг», 2015 С.125-144
7. Tsukernikov I.E. and Hass R. (born Karle). Equations of Linear Regression of Noise Characteristics of Passenger Trains/ Proceedings of Forum Acusticum 2011/ Aalborg, Denmark, European Acoustics Association – EAA, 2011. p. 2749-2753
8. Noise and vibration from high-speed trains. Ed. By V.V.Krylov. Department of Civil and Engineering Nottingham Trent University, published by Thomas Telford Publishing. 2001
9. Матвеев П.В., Олейников А.Ю., Кудаев А.В., Куклин Д.А. Повышение качества поверхности рельса для снижения шума качения // Защита от повышенного шума и вибрации: доклады V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Россия, Санкт-Петербург, 18-20 марта 2015 г.) / под ред. Н.И. Иванова – Санкт-Петербург : Изд-во «Айсинг», 2015 С.638-644