

Определение уровня звука в расчётной точке от проходящего поезда

Брацлавский А.А.¹, Куклин Д.А.², Матвеев П.В.³

¹Доцент, ²Доцент, к.т.н., ³Ст. преподаватель, к.т.н.

^{1, 2, 3} БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

В статье предлагаются методы расчета шума, создаваемого железнодорожным транспортом, в жилой застройке (расчётной точке). Шумовые характеристики отдельных поездов определяются в зависимости от типа поезда, его длины, скорости движения. Расчет шума производится исходя из предположения, что каждый вагон имеет одинаковую акустическую мощность в составе таких же вагонов. Шум в расчётной точке равен сумме интенсивностей дошедших до расчётной точки от каждого вагона.

Ключевые слова: методы расчёта шума, железнодорожный транспорт, типы поездов, источник шума, уровень звука, максимальный уровень звука.

Calculation of sound level in the reference point from a moving train

Bratclavskii A.A.¹, Kuklin D.A.², Matveev P.V.³

¹Associate professor, ²Associate professor, ³Senior lecturer

^{1, 2, 3} Baltic State Technical University «VOENMEH» named after D.F. Ustinov, Saint-Petersburg, Russia

Abstract

The article proposes the methods of noise calculation generated by railway transport, in residential areas (computational point). Noise characteristics of trains is determined depending on the type of train, length, speed. The noise calculation is made, assuming that each railway car has the same acoustic power in the composition of these same railway cars. The noise in the calculation point is equal to the sum of the intensities reached the estimated point from each railway car.

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

Введение

Процессы шумообразования железнодорожного подвижного состава можно разбить на три основные категории [1]:

- шум оборудования;
- шум качения;
- аэродинамический шум.

Шум оборудования (компрессоры, двигатели и др.) превалирует на скоростях до 50 км/ч.

Шум качения и аэродинамический шум зависят от скорости движения поезда.

Шум качения – процесс соударения в системе «колесо – рельс» превалирует в диапазоне скоростей 60-300 км/час. Аэродинамический шум, образованный обтеканием воздухом корпуса подвижного состава, пантографа и др. в основном проявляется на скоростях свыше 300 км/ч.

Также вклад в шумообразование оказывают вибрация корпуса, визг колёс в радиусах, соударение вагонов (шум сцепки), скрип при торможении, движение по

мостам и т.п.

Однако, на расстояниях сформировавшегося звукового поля, а особенно на больших расстояниях шум проходящего поезда воспринимается, как единый шум без выделения источников, но с характерной амплитудно-частотной характеристикой.

1. Расчет эквивалентного уровня звука поездов

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

Вместо W (звуковой мощности) можно использовать экспериментальные данные, соответствующие по ГОСТ 20444-85 [2] значениям уровня звука на расстоянии 25 м от оси пути.

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 текущей работе приняты следующие допущения:

- высота источника шума над землёй – 1 м;
- сферическая форма фронта звуковой волны от каждого источника;
- в качестве источника принимаем один вагон в виде точки, с расстоянием a между источниками звука (между вагонами);
- количество источников звука W соответствует количеству вагонов k в поезде.
- отдельные источники звука считаем некогерентными.
- поезд движется с постоянной скоростью v ;
- начало отсчёта с момента времени, когда середина поезда находится в точке 0.

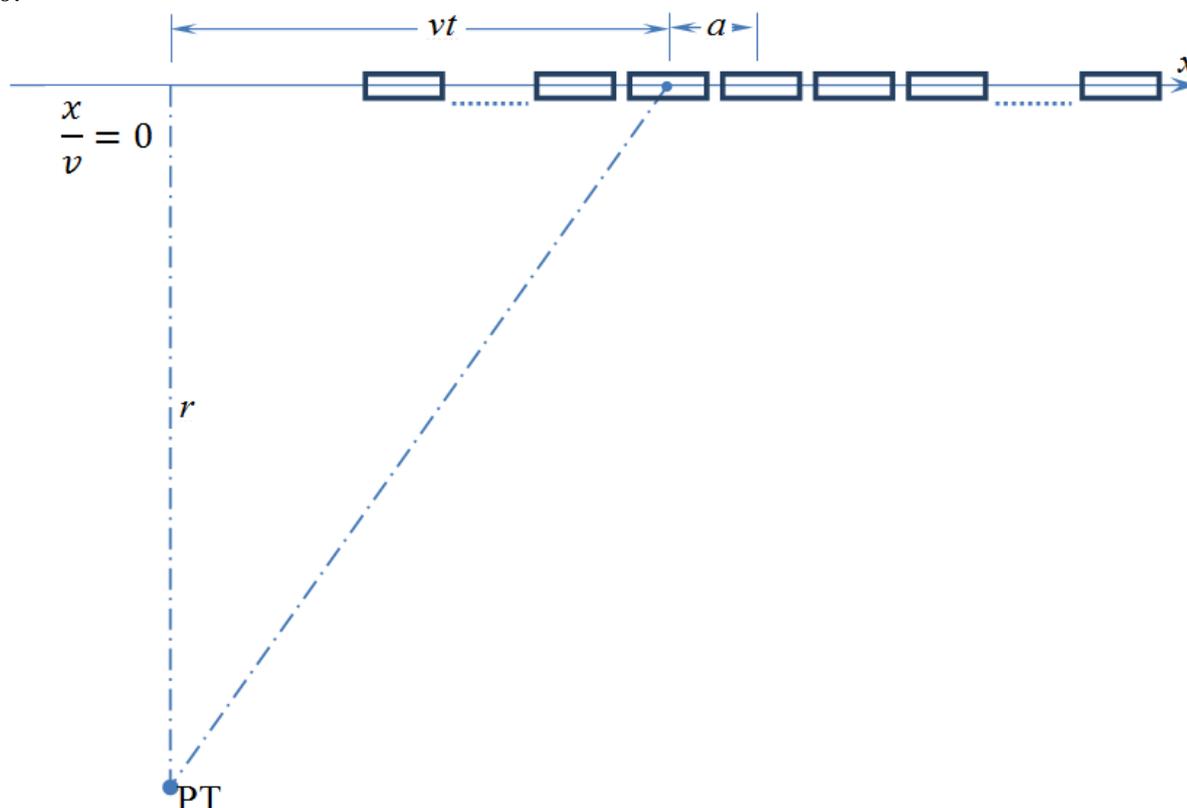


Рис. 1. Расчётная схема для определения уровня звука поезда

В качестве базового уравнения возьмём уравнение интенсивности звука в расчётной точке (РТ)

$$I = \frac{W(1-\alpha)}{4\pi} \cdot 2 \sum_{n=0}^k \frac{1}{r^2 + (vt+na)^2} \quad (1)$$

где $k - \frac{1}{2}$ от числа вагонов в составе, W – звуковая энергия, излучаемая одним вагоном, Вт, α – коэффициент звукопоглощения поверхности.

Поскольку состав движется, и звуковое воздействие от каждого вагона изменяется со временем, но при этом имеет максимум в момент времени, когда ровно половина состава оказывается напротив расчётной точки. Для определения суммарной интенсивности при прохождении состава мимо расчётной точки от момента превышения звука от состава над уровнем фона до максимального значения (половина состава напротив расчётной точки) до удаления состава на расстояние слияния шума поезда с фоновым шумом.

$$I = \frac{1}{T} \int_0^{\frac{x_0}{2v}} I(t) dt$$

$$I = \frac{W(1-\alpha)}{\frac{x_0}{v} 2\pi r v} \sum_{n=0}^k \left(\arctg \frac{2na+vt_0}{2r} - \arctg \frac{2na-vt_0}{2r} \right) \quad (2)$$

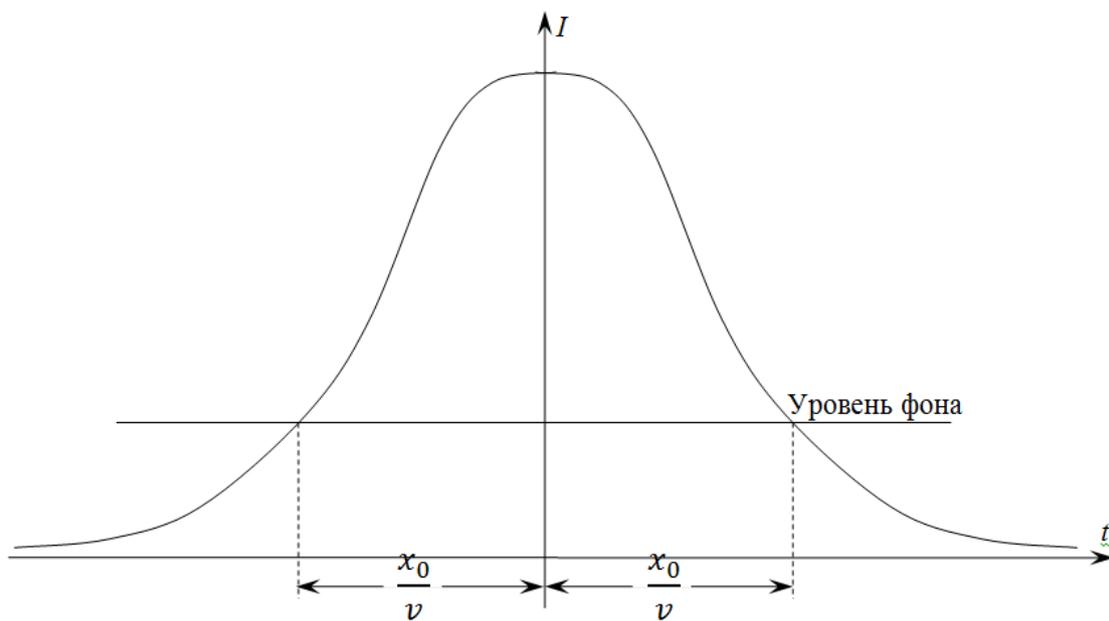


Рис. 2. Звук в расчётной точке за время прохождения поезда

Прологарифмировав обе части получим:

$$10 \lg I = 10 \lg W(1-\alpha) - 10 \lg 2\pi r x_0 + 10 \lg \sum_{n=0}^k \left(\arctan \frac{2na+x_0}{2r} - \arctan \frac{2na-x_0}{2r} \right) \quad (3)$$

Учитывая, что в свободном звуковом поле значения логарифмического уровня интенсивности и уровни звука отличаются на величину 0,16 дБ, можем говорить, что полученная зависимость (3) является зависимостью значения уровня звука в расчётной точке от проходящего поезда.

$$L = L_W(1 - \alpha) - 10 \lg 2\pi r x_0 + 10 \lg \sum_{n=0}^k \left(\arctan \frac{2na+x_0}{2r} - \arctan \frac{2na-x_0}{2r} \right) \quad (4)$$

дБА

Для нахождения расстояния x_0 , где шум поезда сливается с фоновым шумом, подставим вместо L уровень звука, например, 40 дБА, и выразим x_0 , что сделать нетрудно. При вычислении x_0 отбрасываем член с суммой арктангенсов.

2. Расчет максимального уровня звука поездов

Расчёт максимального уровня звука проводим из предположения, что в момент времени, когда середина поезда находится напротив расчётной точки, в расчётной точке имеем максимальные значения шума. Таким образом, максимальная интенсивность звука в расчётной точке выразим зависимостью:

$$I_{\max} = \frac{W(1-\alpha)}{2\pi} \sum_{n=0}^k \frac{1}{r^2+(na)^2} \quad (5)$$

Прологарифмируем обе части зависимости:

$$10 \lg I_{\max} = 10 \lg I_W(1 - \alpha) - 10 \lg 2\pi + 10 \lg \sum_{n=0}^k \frac{1}{r^2+(na)^2} \quad (6)$$

Для максимального уровня звука применимо то же замечание, что и для формулы (3) о приближённом равенстве значений логарифмического уровня интенсивности и уровня звука

$$L_{\max} = L_W(1 - \alpha) - 10 \lg 2\pi + 10 \lg \sum_{n=0}^k \frac{1}{r^2+(na)^2}, \text{ дБА} \quad (7)$$

Таким образом, получаем зависимость для максимального уровня звука.

3. Уточняющие замечания

Если вместо W (L_W) использовать экспериментальные данные, соответствующие по ГОСТ 20444-85 [2] значениям уровня звука на расстоянии 25 м от оси пути (25 м – расстояние на котором измеряется внешний шум поезда в РФ), то формулы (4) и (7) могут быть записаны в виде

$$L = L_{25} - 10 \lg 2\pi r x_0 + 10 \lg \sum_{n=0}^k \left(\arctan \frac{2na+x_0}{2r} - \arctan \frac{2na-x_0}{2r} \right), \text{ дБА} \quad (8)$$

Для эквивалентного уровня звука и аналогично получим выражение для максимального уровня звука:

$$L_{\max} = L_{25} - 10 \lg 2\pi + 10 \lg \sum_{n=0}^k \frac{1}{r^2 + (na)^2}, \text{ дБА} \quad (9)$$

Предполагая зависимость внешнего шума поезда от скорости v доминирующей, представим значения уровня звука поезда на измеряемом расстоянии 25 м регрессионным уравнением:

$$L_{25} = a \lg v + b \quad (10)$$

где a и b – числовые коэффициенты.

Проведя измерения порядка 500 поездов разных типов и исходя из принципа, что уровень звука на расстоянии 25 м от оси пути подчиняется зависимости (10) [3], были выведены следующие экспериментальные формулы:

- для грузовых поездов:

$$L_{Aeq25} = 21 \cdot \lg v_{гп} + 48, \text{ дБА} \quad (11)$$

- для пассажирских поездов:

$$L_{Aeq25} = 26 \cdot \lg v_{пп} + 35, \text{ дБА} \quad (12)$$

- для моторвагонных поездов

$$L_{Aeq25} = 29 \cdot \lg v_{мвп} + 30, \text{ дБА} \quad (13)$$

- для высокоскоростных поездов

$$L_{Aeq25} = 41 \cdot \lg v_{всп} - 11, \text{ дБА} \quad (14)$$

где, $v_{гп}$ – скорость грузового поезда, $v_{пп}$ – скорость пассажирского поезда, $v_{мвп}$ – скорость моторвагонного поезда, $v_{всп}$ – скорость высокоскоростного поезда, км/ч.

Подставляя значения L_{Aeq25} в формулу 8 можем рассчитать значение уровня звука в расчётной точке. Если известны конкретные (измеренные на расстоянии 25 м от оси пути) характеристики внешнего шума, то можно подставить их.

Если возникает необходимость в определении спектральных характеристик шума, то эквивалентные уровни звукового давления, дБ, на расстоянии 25 м от оси пути в октавных полосах частот определяем путем сложения соответствующего эквивалентного уровня звука, дБА, рассчитанного согласно формулам 11...14 для своего типа поезда, со значениями относительных спектров, приведенными в таблице 1

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

Для максимального уровня звука на расстоянии 25 м от оси пути были определены свои зависимости, подчиняющиеся, однако, зависимости (10) [3].

Максимальный уровень звука L_{Amax25} , создаваемый поездами различных категорий на расстоянии 25 м от оси пути, рассчитывают по формулам:

– для грузовых поездов

$$L_{Amax25} = 15 \cdot \lg v_{гп} + 62 \quad (15)$$

– для пассажирских поездов

$$L_{Amax25} = 24 \cdot \lg v_{пп} + 43 \quad (16)$$

– для моторвагонных поездов

$$L_{Amax25} = 27 \cdot \lg v_{мвп} + 37 \quad (17)$$

– для высокоскоростных поездов

$$L_{Amax25} = 45 \cdot \lg v_{всп} - 18 \quad (18)$$

Подставляя значения, полученные в формулах 15...18 для каждого типа поезда в формулу 9, можем определить максимальный уровень звука в расчётной точке.

Если расчётом по формулам 15...18 получаем значения максимального уровня звука больше, чем на 15 дБ значений эквивалентного уровня звука, полученные по формулам 11...14, для отдельного типа поезда, то максимальный уровень звука принимаем по зависимости $L_{Amax25} = L_{Aeq25} + 15$, дБА.

Заключение

В данной работе предложены зависимости, пригодные для расчёта внешнего шума поездов в любой удалённой от путей точке в виде зависимостей для эквивалентного уровня звука, для максимального уровня звука, а так же для уровней звукового давления. Результаты данной работы были использованы при подготовки ГОСТ Р 54933 Шум. Методы расчета уровней внешнего шума, излучаемого железнодорожным транспортом.

Список литературы

1. Иванов Н.И., Куклин Д.А., Матвеев П.В., Олейников А.Ю. Снижение шума подвижного состава железнодорожного транспорта в источнике образования и 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.
2. ГОСТ 20444-85. Шум. Транспортные потоки. Методы измерения шумовой характеристики. М.: Изд-во стандартов, 1994. – 20 с.
3. Куклин Д.А., Матвеев П.В. Расчёт внешнего шум поездов // *Noise Theory and Practice*. 2015; 1 (2): С. 41-51 (http://media.noisestp.com/filer_public/62/95/6295880d-7d05-499a-bf74-b78e0ea958f4/page_47-51_rus.pdf).