

УДК: 550.341; 550.834

OECD: 01.03.AA

## Экспериментальное исследование скалярно-векторной структуры шумового поля электропоезда при наличии акустического экрана

Гончаренко Б.И.

К.ф.-м.н., старший научный сотрудник, доцент, кафедра «Акустика», Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, РФ

### Аннотация

Проведены экспериментальные исследования скалярно-векторных характеристик внешнего шумового поля электропоезда за акустическим экраном, при этом одновременно регистрировались уровни звукового давления и трех взаимноортогональных компонент колебательной скорости. Приемная система и шумовой источник располагались по разные стороны акустического экрана. По данным эксперимента показано, что в низкочастотном диапазоне при прохождении электропоезда вдали от акустического экрана при удалении приемной системы от акустического экрана, уровни звукового давления  $P$  не существенно убывают, в то время как уровни горизонтальной компоненты колебательной скорости  $V_x$  возрастают на 6 - 17дБ. При этом уровень вертикальной компоненты колебательной скорости  $V_z$ , возрастает во всем исследуемом диапазоне частот примерно на 10 дБ.

При прохождении электропоезда в непосредственной близости от акустического экрана, с увеличением расстояния между приемной системой и акустическим экраном уровень по всем скалярно-векторным характеристикам звукового поля практически не изменяется.

**Ключевые слова:** векторный приемник, электропоезд, акустический экран, шумовое поле.

## *Experimental study of the scalar-vector structure of the noise field of an electric train in the presence of an acoustic screen*

*Goncharenko B.I.*

*PhD, assistant professor of the department of Acoustic, M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

### **Abstract**

*Experimental studies of the scalar-vector characteristics of the external noise field of an electric train behind an acoustic screen were carried out, while simultaneously recording the levels of sound pressure and three mutually orthogonal components of the oscillatory velocity. The receiving system and the noise source were located on opposite sides of the acoustic screen. According to the experimental data, it is shown that in the low-frequency range, when an electric train passes away from the acoustic screen, when the receiving system is removed from the acoustic screen, the sound pressure levels do not significantly decrease, while the levels of the horizontal component of the oscillatory velocity  $V_x$  increase by 6-17dB. At the same time, the level of the vertical component of the oscillatory velocity  $V_z$  increases in the entire frequency range under study by about 10 dB.*

*When an electric train passes in the immediate vicinity of the acoustic screen, with an increase in the distance between the receiving system and the acoustic screen, the level of all scalar-vector characteristics of the sound field practically does not change.*

**Keywords:** *vector receiver, electric train, acoustic screen, noise field.*

## Введение

Шум железнодорожного транспорта по степени неблагоприятного влияния на селитебную территорию находится на втором месте после автомобильного транспорта. Как показано в работах [1,2] сверхнормативное превышение этого вида шума на городской территории составляет 16–27 дБА. Однако представленные данные в этих работах не учитывают низкочастотный диапазон, поскольку использование этой шкалы измерения уровней звука предполагает ослабление уровня шума на частоте 20 Гц по отношению к 1000 Гц почти на 60 дБ.

Отметим, что в работе [3] предложено рассматривать модель поезда, в которой часть излучателей представляется в виде монополей, а другая часть – в виде дипольных источников звука расположенных параллельно поверхности земли и перпендикулярно железнодорожным путям. По данным эксперимента установлено наличие пространственной направленности акустического шума рельсового транспорта [4-6].

В работе [7] показано, что в низкочастотной области движущейся электропоезд излучает направленный шум в вертикальной плоскости под некоторым углом к поверхности земли, величина которого уменьшается в высокочастотной области. Не учет направленности акустического шума электропоезда может создавать дополнительные трудности в выборе шумозащитных сооружений в районах движения электропоездов.

Для ослабления шума железнодорожного транспорта на селитебной территории используют различные мероприятия [8]. Эффективным способом снижения шума является сооружение вдоль железнодорожного полотна акустических экранов [1]. Однако следует отметить, что в низкочастотном диапазоне их эффективность может зависеть от взаимного расположения проходящего поезда по различным путям, акустического экрана и жилой застройки.

При анализе внешнего шумового поля электропоезда предполагается комплекс измерений скалярно-векторных характеристик шумового сигнала на низких звуковых частотах, при взаимных расположениях источника звука, акустического экрана и приемной системы. В этой связи в настоящей работе обсуждается формирование скалярно-векторных характеристик, наблюдаемых при регистрации внешнего шума электропоезда на низких звуковых частотах при удалении приемной системы от акустического экрана и двух фиксированных проходах электропоезда: в непосредственной близости от акустического экрана и на удалении от него.

### 1. Эксперимент – место и условия его проведения

При проведении эксперимента использовалась приемная система (ПС), состоящая из ненаправленного микрофона и трехкомпонентного векторного приемника, при этом каналы его расположены взаимно-ортогонально, и каждый канал его имеет дипольную характеристику направленности. Выходное напряжение с каждого канала векторного приемника пропорционально соответствующей компоненте колебательной скорости [9]. Векторный приемник был ориентирован относительно железнодорожного полотна следующим образом: канал  $V_x$  – перпендикулярно, канал  $V_y$  – вдоль железнодорожного полотна и канал  $V_z$  – вертикально. Каждый раз в эксперименте одновременно регистрировались скалярная характеристика – амплитуда звукового давления ( $P$ ) и векторные характеристики – три взаимно ортогональных компонент колебательной скорости внешнего шума проходящего электропоезда.

Звукоприемники были защищены от ветровой помехи, а сама приемная система была помещена на демпфирующее устройство для уменьшения влияния на

звукоприемники вибраций поверхности земли. Сигналы со звукоприемников, через аналого-цифровой преобразователь, записывались на жесткий диск компьютера. Измерения проводились в соответствии с предписаниями соответствующего ГОСТа [10].



Рис. 1. Место проведения эксперимента

Эксперимент проводился в летнее время в районе платформы Яуза на Ярославском направлении Московской железной дороги. Источниками шума были электропоезда, которые проезжали по различным путям из Москвы и в Москву (см. рис.1).

Акустический экран был выполнен из листовой стали высотой примерно 4 м.

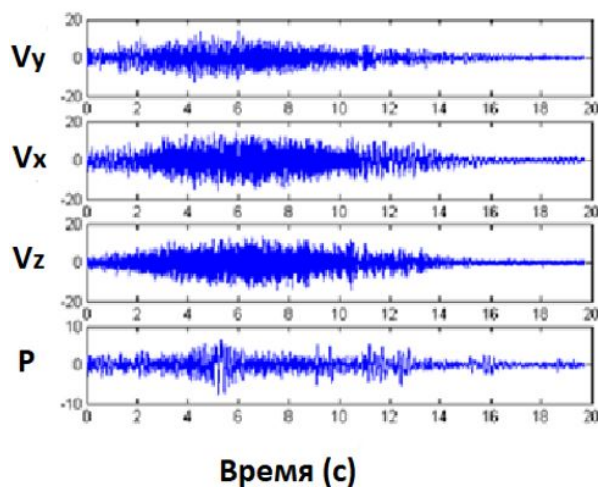


Рис. 2. Проходные характеристики электропоезда

На рис.2 приведены амплитудно-временные характеристики внешнего шума проходящего электропоезда в интегральной полосе частот, зарегистрированные приемником звукового давления и тремя каналами векторного приемника, длительностью 20 с. На траверзе достигается максимум интегрального уровня шума.

## 2. Представление результатов эксперимента

В результате обработки записанных данных для всех точек измерения получена спектральная плотность звукового поля. При обсуждении результатов эксперимента под словом «спектр» будем иметь в виду спектральную плотность амплитуды сигнала, 0 дБ соответствует звуковому давлению  $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Па.

В рабочей полосе частот, которая составила 10 - 1000 Гц, были получены спектры трех взаимно-ортогональных компонент колебательной скорости и звукового давления.

В качестве одночисловой характеристики представления экспериментальных данных введено такое понятие как средний уровень сигнала, выраженный дБ. Рассчитывалось это значение по следующей формуле:

$$\text{дБ} = 20 \log \left( \frac{\sum_{i=1}^N P_i}{N} \right),$$

где  $P_i$  – выбранный уровень поля в спектре для  $i$  значения, относительно 20 мкПа,  $N$  – количество точек разбиения спектра в рабочей полосе частот.

Для всех измерений выбранный сигнал на траверзе превышал уровень фоновых шумов на 10 – 15 дБ. Вся реализация уровня шума при прохождении электропоезда не учитывалась. Выбранный временной участок, с учетом энергетического суммирования, ограничивали следующими значениями  $L_{max} - L > 10$  дБ, где  $L_{max}$  – максимальное значение уровня шума в реализации, а  $L$  близкие к ним составляющие.

## 3. Скалярно-векторные характеристики шумового поля проходящего электропоезда

Рассмотрим особенности формирования скалярно-векторных характеристик внешнего шумового поля проходящего электропоезда за акустическим экраном при фиксированном расположении электропоезда относительно акустического экрана. В первом случае расстояние между проходящим электропоездом (ШИ) и акустическим экраном было 16 метров. Приемная система (ПС) располагалась за акустическим экраном сначала на расстоянии от акустического экрана 5 метров (кривая 1) и далее на расстоянии 27 метров (кривая 2). Схема расположения проходящего электропоезда, акустического экрана и приемной системы приведена на рис.3.

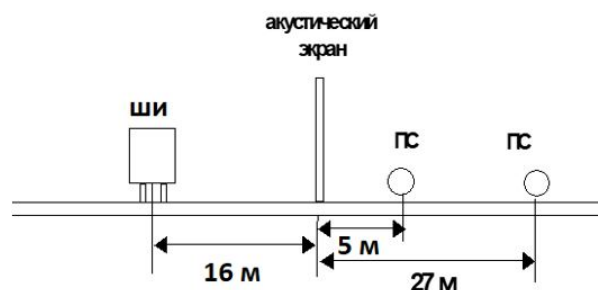


Рис. 3. Схема расположения проходящего электропоезда, акустического экрана и приемной системы

Рассмотрим амплитудные спектры внешнего шума проходящего электропоезда, зарегистрированные микрофоном (Р) и векторным приемником с тремя взаимноортогональными каналами, выходное напряжение которых пропорционально трем взаимноортогональным компонентам колебательной скорости  $V_x$ ,  $V_y$  и  $V_z$ .

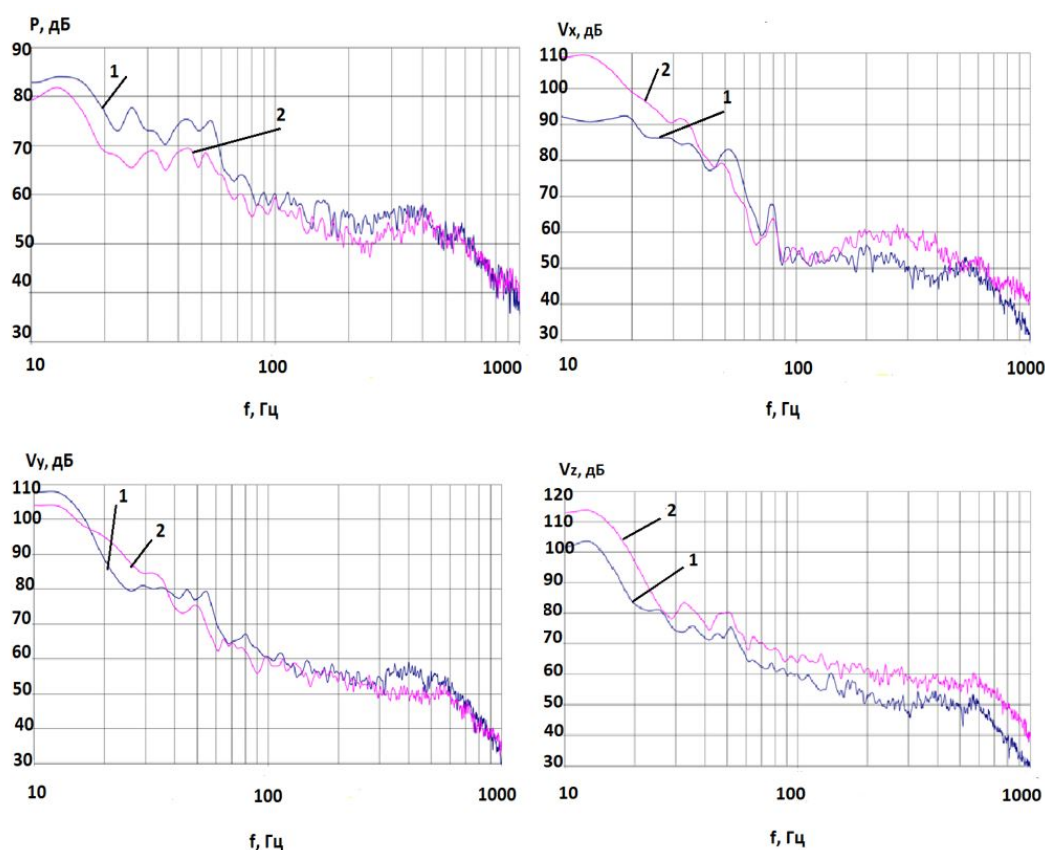


Рис. 4. Частотная зависимость уровней внешнего шума проходящего электропоезда

На спектральных характеристиках видно, что в низкочастотной области (10–40 Гц), значения компонент колебательной скорости  $V_x$ ,  $V_y$  и  $V_z$  превышают на 10–20 дБ соответствующие значения звукового давления  $P$  и достигают на частоте 10 Гц уровня  $\approx 105$ -110 дБ. С возрастанием частоты уровни скалярной и векторных величин шумового поля практически совпадают.

Далее рассмотрим особенности формирования скалярно-векторных характеристик шумового поля электропоезда за акустическим экраном при удалении приемной системы от акустического экрана с 5 м (кривая 1) до 27 м (кривая 2). Рассмотрим два случая. В первом случае, при длине волны больше высоты акустического экрана, уровни звукового давления  $P$  не существенно убывают, в то время как уровни горизонтальной компоненты  $V_x$  возрастают на 6 - 17 дБ. Во втором случае, при длине волны соизмеримой и меньше высоты акустического экрана, видно на рис. 4, что уровни звукового давления и горизонтальной компоненты практически остаются постоянными, за исключением диапазона частот 150 – 400 Гц для горизонтальной компоненты  $V_x$ .

Уровень вертикальной компоненты колебательной скорости  $V_z$  при удалении приемной системой от акустического экрана, возрастает во всем исследуемом диапазоне частот примерно на 10 дБ.

На рис.4 можно наблюдать, что удаление приемной системы от акустического экрана практически не влияет на уровень горизонтальной компоненты  $V_y$ , направленной вдоль железнодорожного полотна.

Рассмотрим второй случай, когда электропоезд проезжал на расстоянии примерно 5 метров от акустического экрана. Приемная система, как и в первом случае, располагалась на расстоянии 5 м и 27 м от акустического экрана.

Полученные результаты частотной зависимости уровней внешнего шума

проходящего электропоезда  $P$ ,  $V_x$ ,  $V_y$  и  $V_z$  показали, что они не зависят от удаления приемной системой от акустического экрана, поэтому частотные спектры компонент звукового поля не приведены.

Учитывая это, в таблице приведены данные в виде среднего значения, которые соответствуют среднему уровню сигнала по спектру соответственно для четырех компонент звукового поля.

Таблица 1

Результаты среднего уровня компонент звукового поля

R, [м]	$V_x$ , [дБ]	$V_y$ , [дБ]	$V_z$ , [дБ]	P, [дБ]
5	72	73	71	60
27	74	73	70	59

Из приведенных табличных данных, видно, что уровень по всем скалярно-векторным характеристикам звукового поля практически не изменяется с увеличением расстояния между приемной системой и акустическим экраном.

Кроме того, отметим, что значения компонент колебательной скорости  $V_x$ ,  $V_y$  и  $V_z$  превышают на 11 – 15 дБ соответствующие значения звукового давления P.

В данном случае одночисловые характеристики отражают картину изменения спектра скалярно-векторных характеристик звукового поля во всем исследуемом диапазоне частот. Таким образом, показано, что в исследуемом диапазоне частот при движении электропоезда вблизи от акустического экрана его шумозащитные свойства не изменяются.

### Заключение

По данным эксперимента установлено, что в низкочастотном диапазоне при прохождении электропоезда вдали от акустического экрана при удалении приемной системы от акустического экрана, уровни звукового давления P не существенно убывают, в то время как уровни горизонтальной компоненты колебательной скорости  $V_x$  возрастают на 6 - 17дБ.

Увеличение расстояния приемной системы от акустического экрана не влияет на уровень горизонтальной компоненты  $V_y$ , направленной вдоль железнодорожного полотна, при этом уровень вертикальной компоненты колебательной скорости  $V_z$  возрастает примерно на 10 дБ во всем исследуемом диапазоне частот.

При прохождении электропоезда в непосредственной близости от акустического экрана, с увеличением расстояния между приемной системой и акустическим экраном, уровень по всем скалярно-векторным характеристикам звукового поля во всем исследуемом диапазоне частот практически не изменяется.

### Список литературы

1. Иванов Н.И., Шашурин А.Е. Основные направления и проблемы экологической акустики // Сборник трудов 1-ой Всероссийской акустической конференции, секция – Шумы и вибрации, 2014 – С. 2-10.
2. Гончаренко Б.И. О состоянии шумового загрязнения окружающей среды в городе Москве // Процессы в геосредах – 2018 – № 3 (17) – С. 1011-1018.

3. Юдин Е.Я., Котова И.Д. Физическая модель излучения шума, движущимся поездом // Тез. Докл. научно-техническая конференция НИИЖТ – 1986 Новосибирск.
4. Заславский Ю.М., Заславский В.Ю. К анализу шума городского рельсового транспорта // NOISE Theory and Practice – 2019 – том 5 – №2 – С. 7-13.
5. Zhang Xuetao. To determine the horizontal directivity of a train pass-by // Proceedings of Inter Noise – 2003 – in03 – 627, Jeju (Korea).
6. Lui W.K., Li K.M., Leung C.W.M. and Frommer G.H. An experimental study of the vertical directivity pattern of wheel/rail rolling noise // Acta Acust. Un. with Acust – 2007 – V – 93 – PP. 742–749.
7. Гончаренко Б.И., Формирование направленности шума, излучаемого электропоездом // Процессы в геосредах – 2020 – № 1 (23) – С. 561-566.
8. Zvolenský P., Grenčík J., Pultznerová A. and Kašiar L. Research of noise emission sources in railway transport and effective ways of their reduction // 1 MATEC Web of Conferences 107, 00073 – 2017.
9. Гончаренко Б.И., Гордиенко В.А., Рожков В.А. Гидроакустический векторный приемник МГУ // Патент РФ №2090012 – зарегистрирован 10.09.97г.
10. ГОСТ Р 51943 - 2002 «Экраны акустические для защиты от шума транспорта. Методы экспериментальной оценки эффективности».

## References

1. Ivanov N. I., Shashurin A. E. Main directions and problems of ecological acoustics // Proceedings of the 1st All-Russian Acoustic Conference, section – Noise and Vibration, 2014 – pp. 2 – 10.
2. Goncharenko B. I. On the state of noise pollution of the environment in the city of Moscow // Processes in geosredakh – 2018 – No. 3 (17) – pp. 1011 – 1018.
3. Yudin E. Ya., Kotova I. D. Physical model of noise radiation by a moving train // Dokl. scientific and technical Conference NIIZHТ – 1986 Novosibirsk.
4. Zaslavsky Yu. M., Zaslavsky V. Yu. To the analysis of the noise of urban rail transport // NOISE Theory and Practice – 2019 – volume 5 – No. 2 – p. 7 – 13.
5. Zhang Xuetao. To determine the horizontal directivity of a train pass-by // , Proceedings of Inter Noise – 2003 – in03 – 627, Jeju (Korea).
6. Lui W.K., Li K.M., Leung C.W.M. and Frommer G.H. An experimental study of the vertical directivity pattern of wheel/rail rolling noise // Acta Acust. Un. with Acust – 2007 – V – 93 – PP. 742–749.
7. Goncharenko B. I., Formation of the direction of noise emitted by an electric train // Processes in geomedii – 2020 – No. 1 (23) – p.561 – 566.
8. Zvolenský P., Grenčík J., Pultznerová A. and Kašiar L. Research of noise emission sources in railway transport and effective ways of their reduction // 1 MATEC Web of Conferences 107, 00073 – 2017.
9. Goncharenko B. I., Gordienko V. A., Rozhkov V. A. Hydroacoustic vector receiver of Moscow State University // Patent of the Russian Federation No. 2090012 – registered on 10.09.97.
10. GOST R 51943-2002 "Acoustic screens for protection from traffic noise. Methods of experimental evaluation of efficiency".