

Анализ уровней звука и звукового давления от моторвагонного железнодорожного подвижного состава

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

¹ Доцент кафедры «Экология и безопасность жизнедеятельности», к.т.н.

² Профессор кафедры «Экология и безопасность жизнедеятельности», д.т.н.

³ Ст. преподаватель, кафедры «Экология и безопасность жизнедеятельности», к.т.н.
БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург, ул. 1-я Красноармейская, д. 1

Аннотация

В статье сравниваются уровни шума, создаваемого моторвагонным подвижным составом разных конструкций. Показаны результаты, полученные в зависимости от скорости движения, типа состава на различных расстояниях и высотах. Предложены зависимости уровня шума поездов от их скоростного режима. Проанализированы превышения уровней шума поездов над нормативными значениями в России и странах ЕС в зависимости от увеличения скорости. Установлены причины большей шумовой нагрузки, создаваемой соответствующим типом поездов, связанные с конструкцией тележки, конструкцией колесных пар, колесными дисками, а также формой колес. Установлено соответствие внешнего шума поездов всех типов техническим нормам на территории России. Приведено сравнение с нормативными уровнями шума на селитебной территории для расстояния 100м.

Ключевые слова: Измерение шума, железнодорожный транспорт, линейный источник шума, уровень звука

Analysis of sound and sound-pressure levels from the railway equipment

Alexander Kudaev¹, Dennis Kuklin², Peter Matveev³

¹ Associate professor of the Department "Ecology and life safety"

² Professor, of the Department "Ecology and life safety"

³ Senior lecturer, of the Department "Ecology and life safety"

BSTU «VOENMEH» named after D.F. Ustinov, 1 Krasnoarmeyskaya, 1, Saint-Petersburg, Russia

Abstract

This article compares the levels of noise generated by railcar rolling stock of different designs. The results obtained depending on the speed of movement, type of composition at various distances and altitudes are shown. Dependences of noise level of trains on their speed regime are proposed. Exceeds the noise levels of trains over the normative values in Russia and the EU countries, depending on the speed increase. The reasons for the greater noise load created by the corresponding type of trains are associated with the design of the trolley, the design of wheel sets, wheel disks, and the shape of the wheels. The correspondence of the external noise of trains of all types to technical norms in the territory of Russia is established. Comparison is made with the standard noise levels in the residential area for a distance of 100 m.

Keywords: Noise analysis, railway transport, line noise source, sound level, sound-pressure levels.

Введение

Исходными данными для анализа служили измерения, которые проводились на прямом участке железнодорожного пути. Исследовались уровни звука, излучаемые поездом на разных скоростях. На каждой скорости были проведены три измерения. В качестве объектов испытания выступали два моторвагонных электропоезда разного конструктивного исполнения:

- спаренные два 5-ти вагонных двухсистемных электропоезда ЭС1 «Ласточка» (Desiro Rus);
- 10-ти вагонный электропоезд постоянного тока ЭД4М.

При осуществлении сравнительных испытаний было проведено 30 основных измерений шума поездов и 50 измерений вспомогательных параметров.

1. Проведение измерений

Подвижной состав был не загружен и без пассажиров. Во время испытаний все двери и окна подвижного состава были закрыты. Вспомогательное оборудование испытуемого подвижного состава работало в штатном режиме. Участок пути выбирался по критериям прямолинейности пути, отсутствия подъёмов-спусков, отсутствия видимых дефектов поверхности (прожоги, выемки, острые выступы на рельсах, волнообразный износ). Путь бесстыковой.

Схема расположения измерительных микрофонов приведена на рис .1.

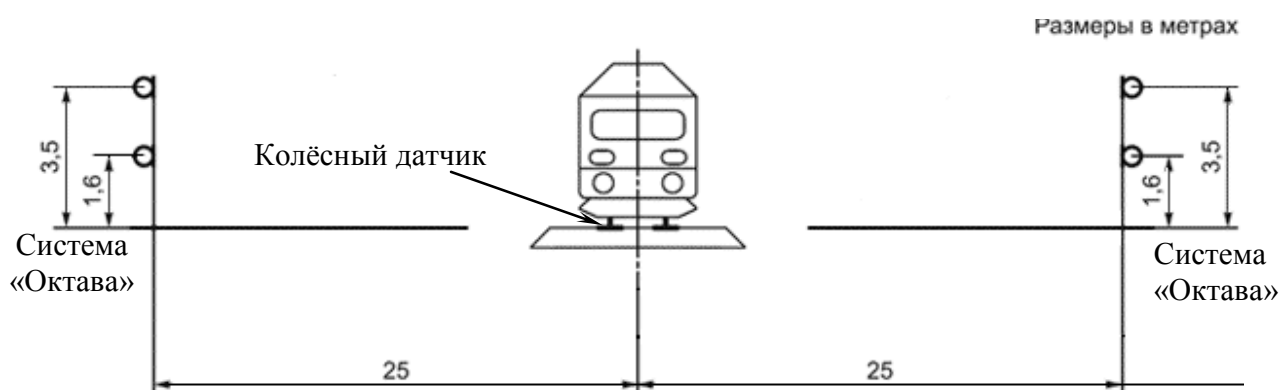


Рис. 1. Схема расположения микрофонов и датчиков

С правой стороны по направлению движения поезда, были установлены две дублирующие системы: «Октава» и система «Pulse» Brüel&Kjær. На правый рельс был установлен колёсный датчик, определяющий начало и конец поезда. С левой стороны по ходу движения установлена система «Октава». Кроме того, были установлены микрофоны на расстоянии 7,5 м. для сравнения нормами ЕС [1].

Измерения проводились на скоростных режимах: 60, 80, 100, 120, 140, 160 км/ч.

Частично результаты представлены на рис. 2-3 и в табл. 1-4. В качестве значений указаны наибольшие уровни, выбранные по измерениям с правой и левой стороны.

Таблица 1

Характеристики внешнего шума электропоездов ЭС1 ЭД4М на расстоянии 7,5 м

Скоростной режим, км/час	60	80	100	120	140	160
1	2	3	4	5	6	7
ЭС1 «Ласточка» – УЗ, дБА	80,7	82,0	84,0	85,3	87,6	87,4
Стандартное отклонение	1,2	0,5	0,2	0,8	2,1	2,0
ЭД4М – УЗ, дБА	86,5	89,3	91,0	94,3	×	×
Стандартное отклонение	1,6	0,6	1,3	0,3	×	×

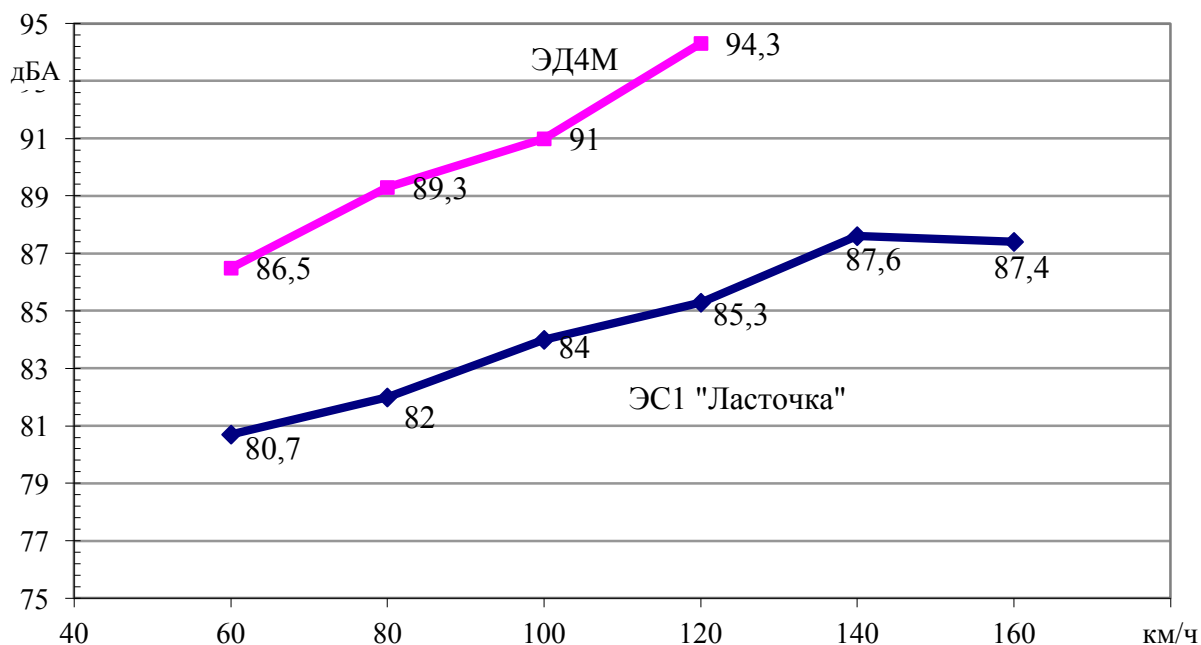


Рис. 2. Уровни звука электропоездов ЭС1 и ЭД4М в зависимости от скорости на расстоянии 7,5 м

Уровни звукового давления электропоезда ЭС1 «Ласточка» в зависимости от скорости представлены на рис. 3. Уровни звука электропоезда ЭС1 «Ласточка» в зависимости от скорости движения и нормативные значения представлены на рис 4.

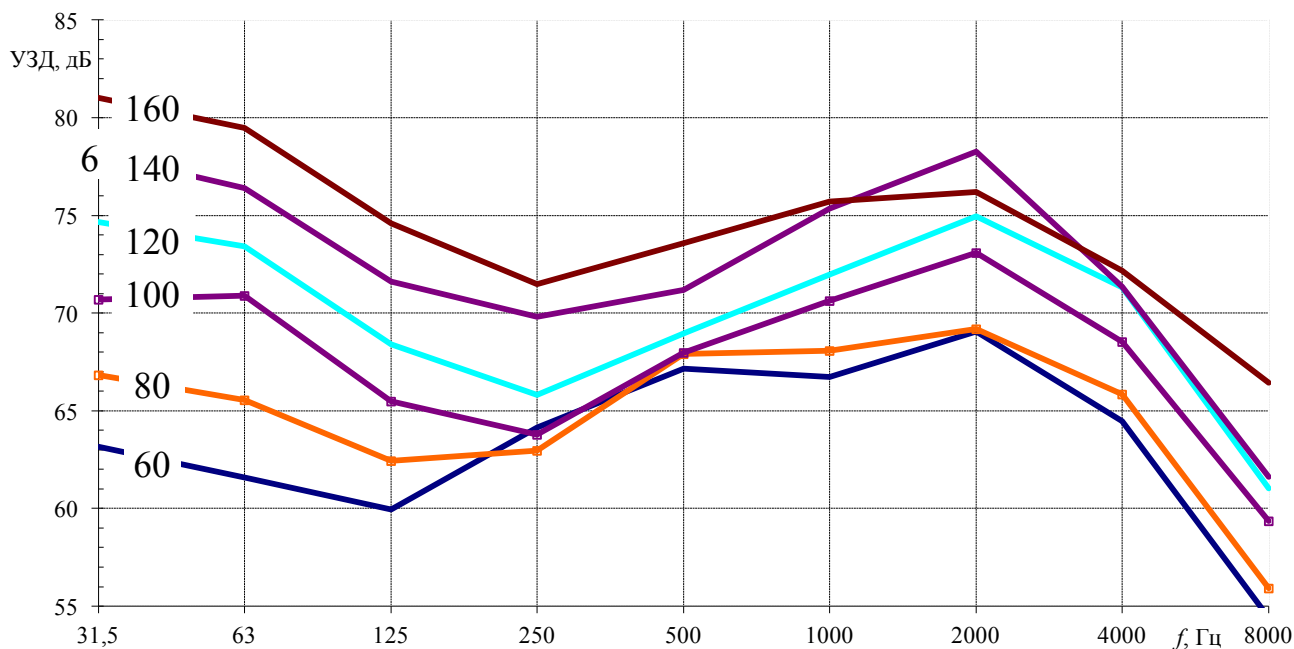


Рис. 3. Уровни звукового давления электропоезда ЭС1 «Ласточка» в зависимости от скорости

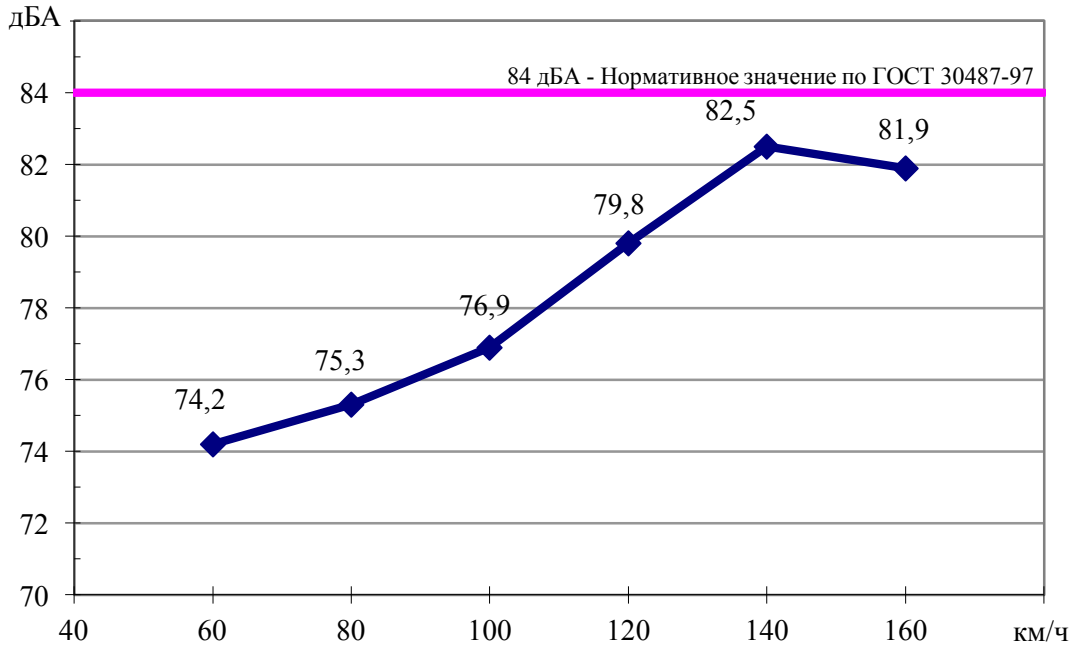


Рис.4. Уровни звука электропоезда ЭС1 «Ласточка» в зависимости от скорости

Поезд ЭС1 «Ласточка» (Desiro Rus) не превышает предельно допустимые значения [3] во всём диапазоне скоростей (рис. 4)

Уровни звукового давления электропоезда ЭД4М в зависимости от скорости представлены на рис. 5. Уровни звука электропоезда ЭД4М в зависимости от скорости движения и нормативные значения представлены на рис 6.

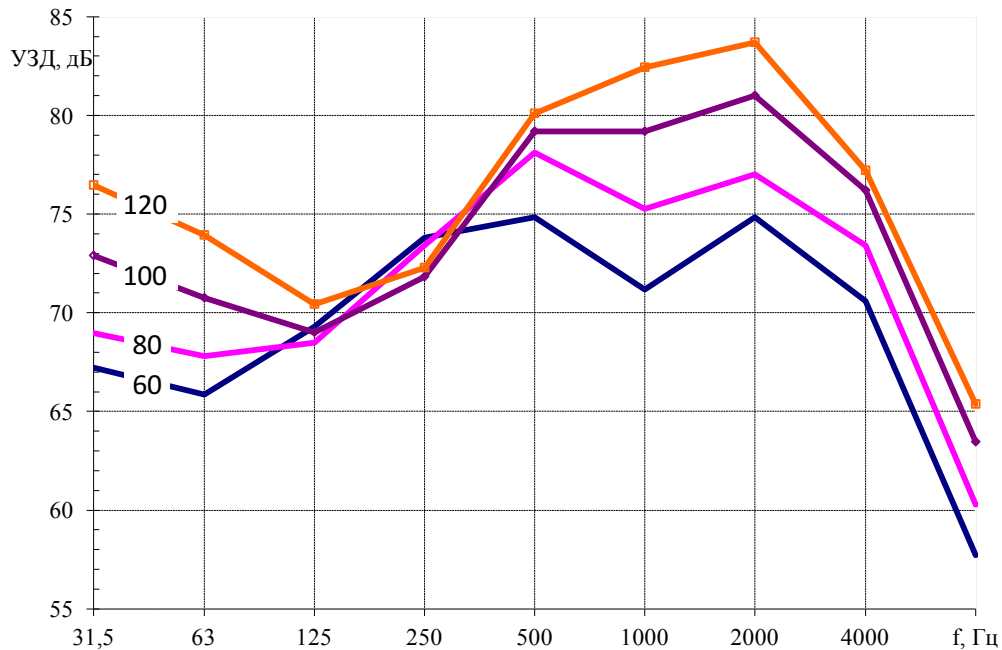


Рис. 5. Уровни звукового давления электропоезда ЭД4М в зависимости от скорости

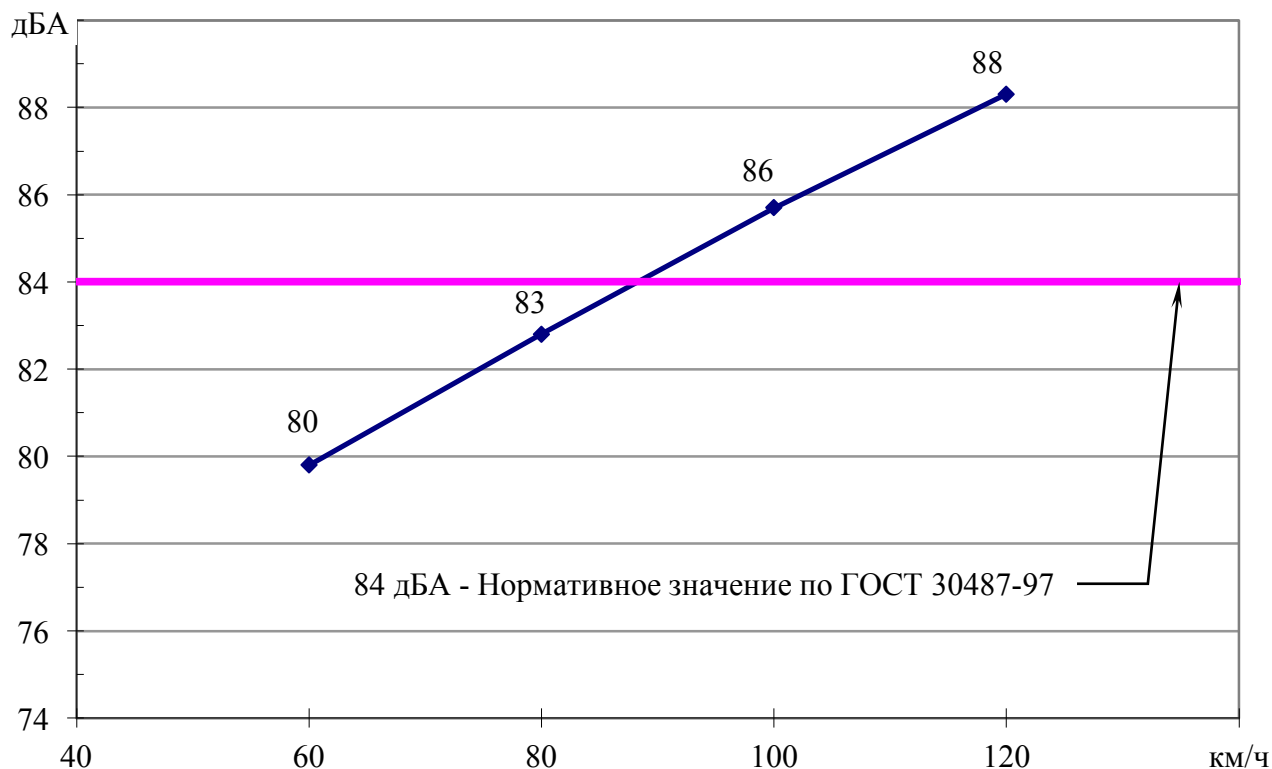


Рис. 6. Уровни звука электропоезда ЭД4М в зависимости от скорости

Обобщенные данные УЗ электропоездов ЭС1 «Ласточка» и ЭД4М, измеренные на расстоянии 25 м приведены на рис. 7 и в табл. 2.

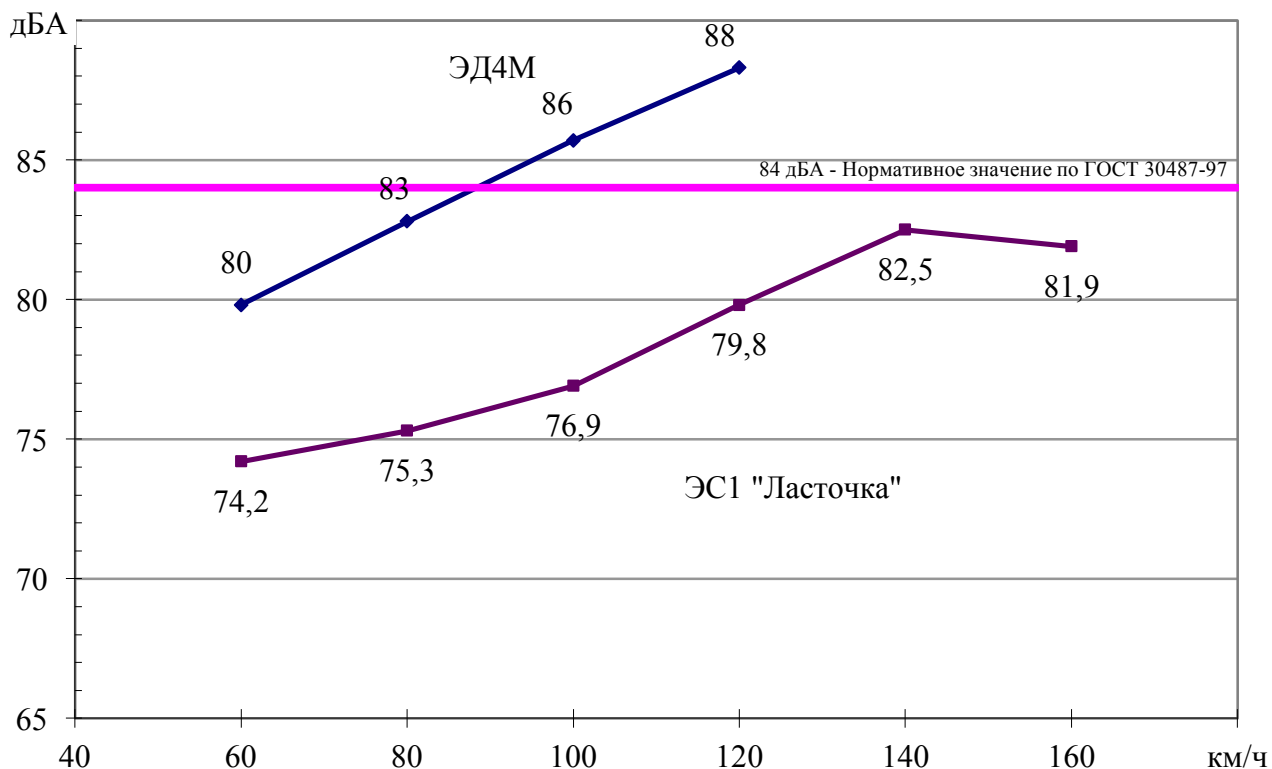


Рис. 7. Сравнение уровней звука электропоезда ЭС1 «Ласточка» и ЭД4М в зависимости от скорости

Таблица 2

Сравнение характеристик внешнего шума двух электропоездов

Скоростной режим, км/час	60	80	100	120	140	160
1	2	3	4	5	6	7
ЭД4М – УЗ, дБА	79,8	82,8	85,7	88,3	×	×
ЭС1 «Ласточка» – УЗ, дБА	74,2	75,3	76,9	79,8	82,5	81,9
Разница, дБА	5,6	7,5	8,8	8,5	×	×

Анализ данных приведенных в данных показывает, что внешний шум электропоезда ЭС-1 «Ласточка» ниже шума электропоезда ЭД4М на 6-9 дБА на всех скоростях движения.

При увеличении скорости движения на каждые 20 км/час шум электропоезда ЭС1 «Ласточка» возрастает в среднем на 1-3 дБА.

Для электропоезда ЭД4М зависимость уровней шума от скорости движения выражена более остро. Шум возрастает на 3 дБА на каждые 20 км/час.

Предполагая зависимость уровня шума поезда от скорости v доминирующей, представим удельную звуковую мощность W_A регрессионным уравнением:

$$L_{WA} = a \lg v + b, \quad (1)$$

где a и b – числовые коэффициенты.

Если подставить соотношение (1) в расчетные формулы для шумовых характеристик [2] и включая значение свободного члена в значение введенных параметров b , имеем следующие выражения для уровня звука (L_{pAeq25}):

$$L_{pAeq25} = a \lg v + b + 10 \lg \arctg \frac{l}{25} - \frac{12,5}{l} \lg \frac{l}{25} + 1, \quad (2)$$

где a , b , – параметры, которые берутся из измеренных значений; l – длина поезда.

Эквивалентный уровень звука (L_{Aeq25}) для моторвагонных поездов после подстановки измеренных значений и небольшого упрощения даст для моторвагонных поездов следующие значения $a = 29$, $b = 28$

$$L_{Aeq25} = 29 \lg v + 10 \lg \arctg \frac{l}{25} + 28 \quad (3)$$

Данная формула хорошо отражает уровень звука от проходящего моторвагонного поезда, что может быть проверено экспериментально на подобном типе поездов.

2. Анализ полученных данных

Если провести сравнение уровней внешнего шума испытанных электропоездов с техническими нормами, то можно увидеть, что до скоростей 90 км/ч превышений нет. Для поезда ЭД4М будут превышения, которые приведены в табл. 3.

Таблица 3

Сравнение характеристик внешнего шума электропоездов с техническими нормами

Скоростной режим, км/час:	60	80	100	120	140	160
Превышения УЗ, дБА, ЭД4М	нет	нет	1,7	4,3	-	-
Превышения УЗ, дБА ЭС1 «Ласточка»	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Разница, дБА (ЭД4М-ЭС1)	5,6	7,5	8,8	8,5	-	-

Сравнение характеристик с нормами, приведёнными в директиве Евросоюза [1] (факультативно) приведено в табл. 4.

Таблица 4

Сравнение характеристик внешнего шума электропоездов с директивой Евросоюза [1]

Скоростной режим, км/час:	60	80	100	120	140	160
ЭС1 «Ласточка» - УЗ, дБА,	80,7	82,0	84,0	85,3	87,6	87,4
ЭД4М - УЗ, дБА	86,5	89,3	91,0	94,3	-	-
Директива 2011/229/EU [1]	-	82	-	-	-	-

Согласно директиве, шум поезда измеряется на скорости 80 км/ч. На этой скорости поезд ЭС1 укладывается в европейскую норму. Поезд ЭД4М превышает норму для европейских моторвагонных поездов на 7 дБА.

Поезд ЭД4М не превышает предельно допустимые значения [3] в диапазоне скоростей до 90 км/ч.

Заключение

По результатам измерений сделаны следующие выводы:

1. Электропоезда ЭС1 «Ласточка» (Desiro Rus) и ЭД4М имеют относительно равномерный спектр и в спектрах обозначенных электропоездов отсутствуют тональные и импульсные составляющие шума. Соответственно поправка в полученные значения, согласно [4], не вводится.

2. Измеренные значения уровней звука на скорости 80 км/ч (базовая скорость по [4] составляют: поезд ЭС1 «Ласточка» – 74 дБА, поезд ЭД4М – 82 дБА. Таким образом внешний шум поезда ЭС1 «Ласточка» меньше внешнего шума поезда ЭД4М на 8 дБА.

Более высокие уровни шума поезда ЭД4М возникают из-за менее совершенной конструкции колёсных пар и конструкции тележек. Диски колёс поезда ЭС1 «Ласточка» оборудованы специальными демпферами, а форма колеса оптимизирована для меньшего излучения шума. Колёсные пары поезда ЭД4М имеют традиционную конструкцию, которая излучает более высокие уровни шума.

Уровни внешнего шума испытываемых поездов не превышают требований технических норм согласно [3] – 84 дБА.

При существующей в Российской Федерации норме шума на территории, прилегающей к жилой застройке [5] в дневное время и 45 дБА в ночное время санитарные нормы шума для расстояния 100 м будут превышены для обоих видов поездов.

Список литературы

1. Commission Decision 2011/229/EU of concerning the technical specifications of interoperability relating to the subsystem 'rolling stock – noise' of the trans-European conventional rail system.
2. Куклин Д.А. Матвеев П.В. Расчёт внешнего шум поездов. Noise theory and practice Том 1 №2 (II, 2015) ISSN 2412-8627 с. 41-51
3. ГОСТ 30487-97 «Электропоезда пригородного сообщения. общие требования безопасности».
4. ГОСТ Р 54061-2010 (ИСО 3095:2005) «Подвижной состав. Акустика. Измерение внешнего шума».
5. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».