

**ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ**

О СНИЖЕНИИ УРОВНЕЙ ШУМА В ПОМЕЩЕНИЯХ ЖИЛЫХ, ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ И НА ТЕРРИТОРИИ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКЕ В ДИАПАЗОНЕ НИЗКИХ И ИНФРАЗВУКОВЫХ ЧАСТОТ

Гончаренко Б.И.

*Физический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова,*

Приведены данные исследования шумового поля в помещении, расположенного, около транспортной магистрали. На низких звуковых частотах уровень шума, зарегистрированный на верхнем этаже здания, превышает соответствующий уровень шума на первом этаже и состоит из проникающего шума и из структурного шума. На основе анализа экспериментальных данных показано, что на низких звуковых частотах для правильной оценки уровней шумового поля в помещении нормированию должны подлежать как уровень звукового давления, так и уровень колебательной скорости частиц среды. Рассмотрены экспериментальные данные звукового поля проходящего скоростного электропоезда типа ЭМ4 «Спутник» на разных расстояниях от акустического экрана. Шумозащитные свойства акустического экрана на низких звуковых частотах уменьшаются при удалении шумового источника от экрана. Проведенные сравнения шумового поля скоростного и обычного электропоезда показали, что уровни звукового давления, а также компонентов колебательной скорости  $V_y$  и  $V_z$  для скоростного электропоезда (ЭМ4 «Спутник») превышают соответствующие уровни обычного электропоезда (ЭР2) на 10 - 17 дБА.

**Введение**

Одна из важнейших проблем современного градостроительства является обеспечение комфортных акустических условий для человека при его длительном нахождении на рабочем месте и в помещениях жилых и общественных зданий. Об актуальности этой проблемы свидетельствуют такие, например цифры как нахождение 70% территории города Москвы в зоне шумового загрязнения, где превышение допустимого уровня шума на отдельных территориях города, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки достигает 15-25 дБА [1]. Это в звуковом диапазоне частот и в эквивалентных единицах измерения по приведенной шкале типа А, в которой уровень звука на нижней границе звукового диапазона частот – 31 Гц ослаблен по отношению к 1000 Гц на 40дБ, т.е. практически влияние низкочастотного диапазона не учитывается.

Что касается инфразвукового диапазона частот, то вопросы воздействия инфразвука в городе на сегодняшний день изучены недостаточно, в связи с чем требуется проведение исследований и оценки существующей степени инфразвукового воздействия на территорию жилой застройки, а также на жилые и общественные здания [1].

Важным аспектом в решении задачи снижения акустического загрязнения окружающей среды и предотвращения роста негативного воздействия шумового загрязнения в диапазоне низких и инфразвуковых частот является разработка нормативных документов. Именно они должны обоснованно и объективно устанавливать критерии безопасности и безвредности для проживания человека. Кроме того, необходимо иметь метрологически обеспеченные методики контроля за уровнем шумности и оценки степени ослабления внешних шумов.

**Результаты и их обсуждение**

В настоящее время действуют Санитарные нормы (СН 2.2.4/2.1.8.562-96), которые устанавливают классификацию, нормируемые параметры и предельно допустимые уровни шума на рабочих местах, допустимые уровни шума в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки в звуковом диапазоне частот.

Однако в этом документе имеется ряд недостатков, которые не позволяют правильно оценить измеренные уровни звукового давления на объектах. Остановимся на этих недостатках.

В действующих Санитарных нормах в допустимых уровнях при оценке значениями эквивалентных и максимальных уровней звука наличие **структурного шума** внутри помещения не регламентируется.

В звуковом диапазоне частот отечественные санитарные нормы регламентируют допустимые уровни звукового давления, эквивалентные и максимальные уровни звука **проникающего шума** в помещениях жилых и общественных зданий.

Допустимый уровень шумов – это уровень, который не вызывает у человека значительного беспокойства и существенных изменений показателей функционального состояния систем и анализаторов, чувствительных к шуму. В соответствии с определением представленном в Санитарных нормах **проникающий шум** – это шум, возникающий вне данного помещения и проникающий в него через ограждающие конструкции, системы вентиляции, водоснабжения и т.д.

Однако шум, возникающий внутри помещений зданий, которые находятся, например, вблизи транспортных магистралей можно разделить на две составляющие: на **проникающий шум**, являющийся результатом проникновения в помещение шума источника по воздуху, и на **структурный шум**, являющийся результатом излучения звуковых волн вибрирующими поверхностями стен, пола и потолка помещения. Уровень структурного шума напрямую связан с проникновением вибраций внутрь здания и зависит от формы колебаний поверхности конструктивных элементов помещения, а также от акустических и геометрических характеристик помещения. В спектральном составе вибрации преобладают октавные полосы со среднегеометрическими частотами 31,5 Гц и 63 Гц (низкие частоты звукового диапазона).

Таким образом, суммарный уровень шума в помещении может быть значительно повышен за счет возникновения низкочастотного структурного шума.

В качестве иллюстрации приведены результаты шумов, порождаемых проходящим трамваем внутри одного из учебных корпусов Московского энергетического института, расположенного на Красноказарменной улице.

Как следует из приведенных данных на рис.1, уровень шума на 5 этаже здания, расположенного около трамвайных путей, в диапазоне частот ниже 100 Гц

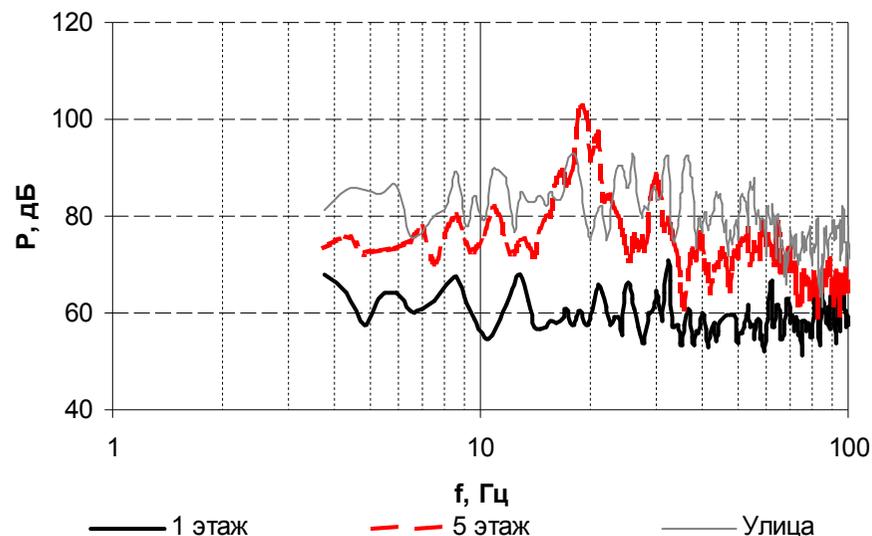


Рис.1 Спектральные уровни звукового давления, зарегистрированные на 1-м, 5-м этажах здания и на улице в момент прохождения трамвая мимо здания.

превышают на 10 – 20 дБ уровень шума на 1 этаже. Анализ измеренных значений уровня составляющих колебательной скорости на 1, 5 этажах и на улице показал, что проникновение шума на 5 этаж происходит не только через окно, но и посредством излучения звука полом и фасадной стеной здания, причем это излучение на пятом этаже больше, чем на первом этаже [2].

Из сказанного следует, что не обосновано допустимые уровни в звуковом диапазоне частот характеризовать уровнем звукового давления в октавных полосах и одночисловыми значениями эквивалентных и максимальных уровней звука только *проникающего шума* в помещения жилых и общественных зданий. Это приводит к неправильным оценкам измеренного уровня звукового давления на объектах.

Далее сопоставим значения допустимых уровней звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами в низкочастотной области звукового диапазона частот, взятыми из Санитарных норм - СН 2.2.4/2.1.8.562-96 с соответствующими уровнями звукового давления для инфразвукового диапазона частот, взятыми из Санитарных норм - СН 2.2.4/2.1.8.583-96.

Граница инфразвукового диапазона частот в отечественных Санитарных нормах четко определена. Инфразвук – это звуковые колебания и волны с частотами, лежащими ниже полосы слышимых (акустических) частот – 20 Гц.

Граница шума в звуковом диапазоне частот также определена и заключена в диапазоне от 31,5 до 8000 Гц. В реальной жизни четкой границы между инфразвуком и низкочастотным диапазоном звуковых частот нельзя определить. Учитывая это, следовало бы ожидать, что значения допустимых уровней звукового давления в октавных полосах в помещениях жилых и общественных зданий и на территории жилой застройки не должны друг от друга сильно отличаться при переходе от звукового диапазона частот к инфразвуковому диапазону частот или уж характер изменения по мере понижения частоты должен оставаться тот же самым.

Таблица №1. Результаты сравнения допустимых уровней звукового давления в октавных полосах в помещениях жилых и общественных зданий и на территории жилой застройки при переходе от звукового диапазона частот к инфразвуковому диапазону частот.

Назначение помещений или территорий	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц							
	для инфразвука				для звукового диапазона частот			
	2	4	8	16	31,5	63	125	250
Помещения жилых и общественных зданий	75	70	65	60	79	63	52	45
Территория жилой застройки	90	85	80	75	90	75	66	59

Как следует из приведенных данных в таблице №1, при переходе от звукового диапазона частот (частота 31,5 Гц) к инфразвуковому диапазону частот (частота 16 Гц) существует необъяснимое резкое уменьшение допустимых уровней звукового давления. Так значения допустимых уровней звукового давления в помещениях жилых и общественных зданий на частоте 31,5 Гц составляют 79 дБ, а на следующей частоте 16 Гц – составляют 60 дБ, т.е. уменьшены почти на 20 дБ (в десять раз!). Для территории жилой застройки значения допустимых уровней звукового давления на частоте 31,5 Гц составляют 90 дБ, а на следующей частоте 16 Гц – составляют 75 дБ, т.е. различаются почти на 15 дБ. Таким образом, для соседних частот, но заимствованных из разных нормативных документов, имеется необъяснимое резкое уменьшение допустимых уровней звукового давления, а тенденция увеличения допустимых уровней звукового давления по мере понижения частоты при переходе от звукового диапазона частот к инфразвуковому диапазону частот не сохраняется.

Остановимся на нормировании уровней шума в жилых и общественных зданиях и на территории жилой застройки в диапазоне низких и инфразвуковых частот.

Для низкочастотного и инфразвукового диапазонов частот проблема нормирования уровней шума и оценки существующей степени инфразвукового воздействия на территорию жилой застройки, а также на жилые и общественные здания на сегодняшний день изучены недостаточно.

В настоящее время исследователи по-разному трактуют о физиологическом воздействии инфразвука на живой организм. Прежде всего, следует отметить, что физические особенности инфразвука таковы, что в этом диапазоне частот амплитуда колебаний во много раз больше, чем у звуковых волн при равных мощностях источников звука. Кроме того, инфразвук отличается от слышимых звуков значительно большей длиной волны, поэтому при его распространении более выражено явление дифракции, вследствие чего они легко проникают в помещения и обходят преграды, задерживающие слышимые звуки.

Многие исследователи придерживаются резонансной теории воздействия инфразвука. Можно представить человека в виде механической колебательной системы, состоящей из оболочки с эластичными стенками, внутри которой через упругие связи подвешены элементы массы. Если упругость подвесок и величина масс соответствует реальному органу, то каждый такой элемент будет иметь собственную частоту колебаний. В спокойном состоянии система уравновешена действующими на неё силовыми факторами. При помещении системы в довольно существенное поле звуковых давлений низкой частоты под их влиянием эластичные стенки приходят в колебательное движение, напоминающей работу пульсирующей сферы, либо раскачивание под действием градиента звукового давления. При этом подвергаются раздражению механорецепторы внутренних органов, тканей мышц и кожи, в результате чего рефлекторным путем в организме возникают ряд сдвигов [3]. Пока нет четкого представления, какой механизм возбуждения колебаний внутренних органов более существенен: пульсирующий под действием переменного звукового давления или колебательный под действием градиента звукового давления. Важно, что реакция колебательной системы организма на акустическое воздействие низкой частоты определяется не только уровнем звукового воздействия, но и колебательной скоростью частиц среды, возникающей под действием градиента звукового давления, а также амплитудой их смещения от положения равновесия.

В низкочастотном и инфразвуковом диапазонах частот, когда длина волны велика, связь между звуковым давлением и колебательной скоростью частиц среды не является однозначной. В замкнутых пространствах (помещениях, салонов автомобилей, тоннелях, на станциях метро) в этом диапазоне частот имеется возможность возникновения стоячих и близких к ним инфразвуковых волн. Поскольку в стоячей волне сдвиг фаз между звуковым давлением и колебательной скоростью частиц среды равен  $\pi/2$ , то область максимума колебательной скорости соответствует минимуму звукового давления. Аналогичное явление наблюдается и тогда, когда исследуемая область находится в ближней зоне излучателя шума, которая для низких частот и инфразвука составляет десятки и сотни метров. Учитывая это, сильное воздействие на организм и измерительные приборы может происходить в области пространства, в которой измеренное значение звукового давления близко к нулю. Однако в этих областях обычно наблюдается пучность градиента звукового давления (колебательной скорости частиц среды).

Как было отмечено выше, проведены исследования поля шумов, порождаемого проходящим по улице трамваем около и внутри одного из учебных корпусов Московского энергетического института на Красноказарменной и на улице. Были получены спектры уровня звукового давления, трех взаимно ортогональных компонент колебательной скорости частиц среды, зарегистрированных на пятом этаже здания в диапазоне частот 4 Гц – 500 Гц. При этом канал  $V_x$  векторного приёмника направлен перпендикулярно трамвайным

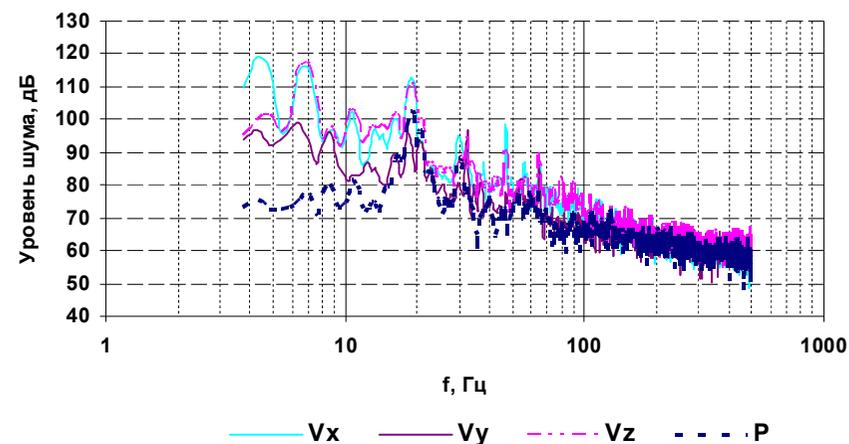


Рис.2 Спектральные уровни звукового давления и трех взаимно ортогональных компонент колебательной скорости частиц среды, зарегистрированных на пятом этаже здания, порождаемого проходящим по улице трамваем

путям, канал  $V_y$  – вдоль трамвайных путей и канал  $V_z$  - направлен вертикально.

Из приведенных данных на рис. 2 следует, что в диапазоне частот выше 100 Гц характер изменения амплитудно-частотных характеристик колебательной скорости и звукового давления одинаков: спектр не имеет выраженных экстремумов, их уровни равномерно убывают с возрастанием частоты и не имеют существенных различий по амплитуде. Это свидетельствует о том, что в диапазоне частот выше 100 Гц шумовое поле является диффузным и шум проникает в здание в основном через окна (по воздуху).

Следовательно, для оценки уровней шумового поля в помещениях на высоких звуковых частотах достаточно измерять величину звукового давления.

В диапазоне частот ниже 100 Гц уровни составляющих колебательной скорости  $V_x$ ,  $V_y$  и  $V_z$ , на 10-35 дБ превышают соответствующие уровни звукового давления и достигают на отдельных частотах 110-115 дБ. Такое же превышение по всем компонентам колебательной скорости уровня звукового давления в диапазоне частот ниже 100 Гц зарегистрировано при расположении приемной системы на улице.

Таким образом, на низких и инфразвуковых частотах для правильной оценки уровней шумового поля регламентированию должны подлежать как уровень звукового давления, так и уровень его градиента (или уровни колебательной скорости частиц в волне), а в помещениях и замкнутых объёмах необходимо учитывать еще и их пространственную структуру.

В городских условиях одним из источников низкочастотных и инфразвуковых шумов является железнодорожный транспорт. Уровни шума железнодорожного транспорта зависят как от интенсивности и скорости движения составов, так и от характеристик поездов, состояния железнодорожных путей. Шумовая характеристика железнодорожного транспорта при интенсивности движения 3-4 пары/час на расстоянии 25 м составляет 71 - 82 дБА в зависимости от состава потока (пассажирские или грузовые поезда). Проезд железнодорожного состава обуславливает возрастание уровня шума в среднем на 10-20 дБА над фоновыми значениями шума на прилегающей жилой территории. Наиболее эффективными мероприятиями по снижению уровня шума от железнодорожного транспорта на прилегающие территории являются строительно-акустические - установка шумозащитных экранов вдоль участков железных дорог, приближенных к жилым кварталам [1]. Однако при использовании акустических экранов с целью снижению уровня шума от железнодорожного транспорта на прилегающие территории, могут возникнуть трудности, поскольку на низких звуковых частотах эффективность акустических экранов, установленных вдоль участков железных дорог, существенным образом зависит от взаимного расположения источника шума, акустического экрана и территории жилой застройки.

Нами были проведены работы по изучению акустического шума проходящего скоростного электропоезда при наличии акустического экрана на низких звуковых частотах. Натурные работы проводились в районе платформы Яуза на Ярославском направлении Московской железной дороги. В качестве источников звука использовались шумы скоростных электропоездов типа ЭМ4 «Спутник», проходящим по различным путям. Источники шума и приемная система располагались по разные стороны от акустического экрана. Приёмная система включала в себя приёмник звукового давления и трёхкомпонентный векторный приёмник (ВП) с взаимно-ортогональными каналами. Канал  $V_x$  векторного приемника был направлен в сторону железнодорожных путей, канал  $V_y$  - вдоль железнодорожных путей, а канал  $V_z$  - вертикально. Таким образом, в каждой точке измерения одновременно регистрировались уровни звукового давления и трех взаимно ортогональных составляющих колебательной скорости проходящих электропоездов. Высота акустического экрана, установленного вдоль железнодорожных путей в районе проведения экспериментальных работ составляла примерно 4м, материал, из которого выполнен акустический экран - листовая сталь толщиной 2 мм ступенчатого профиля.

На рис. 3 приведены данные изменения уровней компонент звукового поля проходящего скоростного электропоезда ЭМ4 «Спутник» на различных расстояниях от акустического экрана. Приёмная система располагалась за акустическим экраном на расстоянии от него примерно 27м. По другую сторону акустического экрана был расположен источник шума.

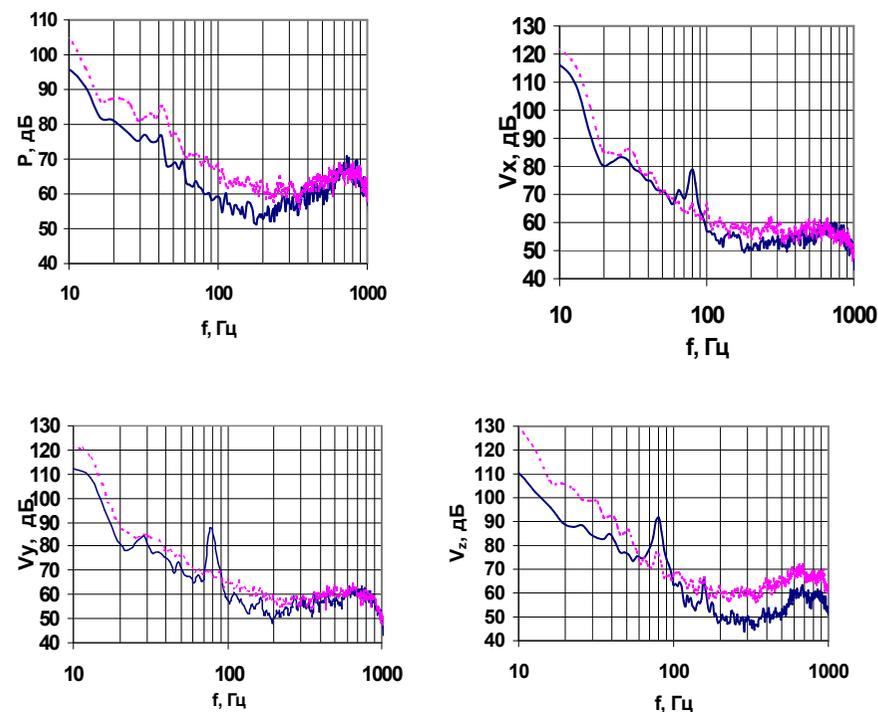


Рис.3 Сравнение уровней компонент звукового поля проходящего скоростного электропоезда на различных расстояниях от экрана. Сплошная кривая соответствует расстоянию между источником шума и акустическим экраном  $r=26$  м, пунктирная кривая -  $r=35$  м.

Как следует из приведенных экспериментальных данных на высоких звуковых частотах по каналам  $P$ ,  $V_x$  и  $V_y$  уровень звукового поля остаётся примерно постоянным при увеличении расстояния между источником шума и экраном. Однако в диапазоне частот 10 - 300 Гц, т. е. когда длина волны становится больше или соизмеримой с высотой акустического экрана, уровни по каналам  $P$ ,  $V_x$  и  $V_y$  возрастают примерно на 10 дБ, т.е. в три раза. Что касается вертикальной составляющей колебательной скорости  $V_z$ , то ее уровень с удалением источника шума от акустического экрана возрастает во всем рассматриваемом диапазоне частот примерно на 10-12 дБ, т.е. в три - четыре раза.

Таким образом, с удалением источника шума от акустического экрана шумозащитные его свойства в диапазоне низких и инфразвуковых частот уменьшаются. А если иметь в виду, что в городской черте в районе расположения железнодорожных станций, имеется несколько железнодорожных платформ, которые разнесены в горизонтальном направлении на десятки метров, то при

разгоне и торможении или при проходе по дальнему пути по отношению к акустическому экрану его эффективность будет существенно снижена.

И последнее что рассмотрим это, каким образом снижается уровень внешних шумов разрабатываемых новых, современных модификаций электропоездов в плане выполнения «Концепции снижения уровней шума и вибрации в городе Москве» [1].

В последнее время на различных линиях железных дорог стали курсировать более комфортабельные скоростные электропоезда, например, типа ЭМ4 «Спутник». Представляется целесообразным оценить создаваемые уровни внешнего шумового поля при проезде скоростного электропоезда и сравнить создаваемые уровни внешнего шумового поля скоростного и обычного

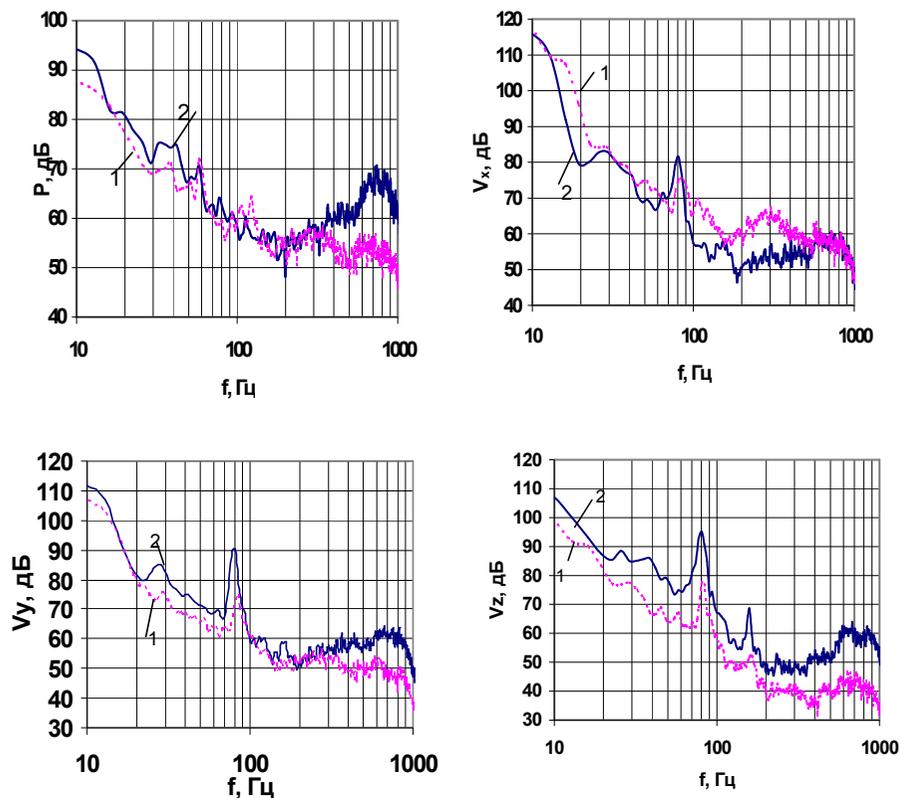


Рис.4 Сравнение уровней шума звукового поля проходящего скоростного (ЭМ4 «Спутник») и обычного электропоездов (ЭР<sub>2</sub>). Кривая 1 соответствует проходу обычного электропоезда, кривая 2 – скоростному электропоезду.

электропоездов.

Приведенные на рис. 4 спектральные характеристики поля акустических шумов по звуковому давлению и составляющим колебательной скорости  $V_x$ ,  $V_y$ , и  $V_z$  для проходящих скоростного (ЭМ4 «Спутник») и обычного (ЭР<sub>2</sub>) электропоездов соответствуют случаю, когда канал  $V_x$  векторного приёмника направлен перпендикулярно железнодорожным путям, канал  $V_y$  – вдоль железнодорожных путей и канал  $V_z$  – направлен вертикально.

Скорость движения скоростного электропоезда составляла примерно – 75км/час, скорость обычного электропоезда – 70 км/час, т.е. скорости их движения различались не значительно.

Превышение сигнала уровня собственных шумов во всем рассматриваемом диапазоне частот и по всем каналам для проходящего скоростного электропоезда составляла примерно 15-20 дБА, а для обычного электропоезда 12-15 дБА.

Из приведенных экспериментальных данных видно, что уровни по каналам  $V_x$ ,  $V_y$ , и  $V_z$  на низких звуковых частотах, как для скоростного, так и для обычного электропоездов превышают уровень канала Р примерно на 10 – 12 дБ и достигают величины 110 -115дБ. В звуковом диапазоне частот (300 – 1000 Гц) уровни звукового давления и  $V_y$ , для скоростного электропоезда превышают соответствующие уровни для обычного электропоезда примерно на 10-15 дБ, уровни  $V_z$  – имеют соответственное превышение во всем рассматриваемом диапазоне частот на 10-15 дБ (в 3 – 5 раз). В то же время следует отметить иной характер изменения для колебательной скорости  $V_x$ , направленного в сторону железнодорожных путей. В диапазоне частот 100 – 400 Гц уровни для обычного электропоезда примерно на 10-15 дБ превышают соответствующие уровни скоростного электропоезда

Таблица 2. Приведены данные сравнения уровней по каналам Р,  $V_x$ ,  $V_y$ , и  $V_z$  для скоростного и обычного электропоездов в приведенных единицах измерения по шкале типа А.

	Р, дБА	$V_x$ , дБА	$V_y$ , дБА	$V_z$ дБА
ЭМ4 «Спутник»	69	62	69	73
Электропоезд ЭР <sub>2</sub>	59	63	58	56

Как следует из приведенных данных, уровни звукового давления, а также компонентов колебательной скорости  $V_y$  и  $V_z$  для скоростного электропоезда (ЭМ4 «Спутник») превышают соответствующие уровни обычного электропоезда (ЭР<sub>2</sub>) на 10 - 17 дБА, т.е. в 3 – 7 раз.

#### Литература

1. Концепция снижения уровней шума и вибрации в городе Москве. Приложение 1 к постановлению Правительства Москвы от 16 октября 2007 г. N 896-ПП

2. Гончаренко Б.И., Гордиенко В.А. Некоторые аспекты подходов к нормированию уровня шума на рабочих местах и в помещениях жилых и общественных зданий на низких и инфразвуковых частотах // В сборнике трудов Физические проблемы экологии (экологическая физика), № 11, М. 2003, с. 149-157.

3. *Фролов К. В., Гончаревич И. Ф., Лихнов П. П.* Инфразвук, вибрация, человек. М.: Машиностроение, 1996, 368 с.