

## Экологические проблемы и природопользование

УДК 504.055

*С.А. Гагарин, Н.С. Рожихин, Л.И. Романов*

### ТРАМВАЙ КАК ИСТОЧНИК НИЗКОЧАСТОТНОГО ЗВУКА И ИНФРАЗВУКА

Изложены результаты исследований зависимости: снижение уровня низкочастотного звука и инфразвука с расстоянием. Выявлено, что заметное снижение низкочастотных акустических сигналов начинается с 10 Гц на 2–3 дБ. Сделан предварительный вывод о том, что в условиях городской застройки реальное снижение инфразвуковых частот целесообразно учитывать с 10 до 20 Гц. Затухание инфразвука в этом диапазоне частот может достигать 2–5 дБ. Более выраженное снижение интенсивности звукового давления относится к низкочастотному звуку до 250 Гц. Как показали результаты измерений, уровень звукового давления через 60 метров уменьшается на 8 дБ зимой и 5 дБ летом. При удалении от трамваев на расстоянии от 50 м и более при моделировании можно учитывать «эффект расстояния».

*Ключевые слова:* низкочастотный звук, инфразвук, эквивалентный звук.

В пределах городской территории техногенные источники низкочастотного звука и инфразвука характеризуются большим разнообразием, среди них выделяется городской транспорт, в частности трамваи. В настоящее время вопросы низкочастотного воздействия и инфразвука на окружающую среду рассмотрены подробно в основном на уровне медицинских исследований. Отмечено, что длительное воздействие низкочастотного звука звуковых волн и инфразвука на организм человека приводит к негативным последствиям, в том числе к нарушению нормального функционирования органов слуха, вестибулярного анализатора, центральной и вегетативной нервных систем, органов кровообращения и дыхания [1]. Закономерности пространственного распределения низкочастотного звука волн рассмотрены недостаточно. В статьях о воздействии низкочастотного шума и вибрации на окружающую среду [2–5] дается предварительная оценка о заметном снижении уровня интенсивности низкочастотного шума на 1 и 0,5 дБ на первые 10 м и 20 м соответственно.

Целью данного исследования была оценка изменения интенсивности инфразвука и низкочастотного звука колебаний в октавных сегментах при удалении от источника в разные сезоны года, а также сопоставление полученных значений с гигиеническими нормативами – предельно допустимыми уровнями (ПДУ). Значения ПДУ взяты из нормативной литературы и представлены в табл. 1.

### Материалы и методы исследований

Исследования проводились в городе Ижевске в летнее и зимнее время, на участке местности, где трамваи являются преобладающим источником инфразвука и низкочастотного звука техногенного происхождения. На рис. 1 обозначен маршрут движения трамваев, а также пункты измерений. Измерения проводились шумомером – анализатором «Октава 110А» в октавном и третьоктавном диапазоне.

Условия проведения эксперимента:

Место проведения: г. Ижевск, ул. 9 Января. Территория, на которой производились исследования, представляет собой выровненную поверхность с отсутствующим древесным и кустарниковым покровом, ближайшие здания удалены на 90 м. Площадка распространения звуковых волн – грунтовая поверхность с редким разнотравьем. Эксперимент проводился в летний и зимний сезоны.

1. Погодные условия:

– летний период: температура воздуха 18 °С, скорость ветра в пределах от 0 до 2 м/с, высота травяного покрова до 15 см;

– зимний период: температура воздуха –10 °С, скорость ветра в пределах от 0 до 2 м/с, высота снежного покрова 50 см.

2. В эксперименте учитывались трамваи с одним вагоном. Тип трамваев: Tatra T3, Tatra KT4, Tatra T6B5. Участок проезда транспорта спрямленный, скорость движения 40–50 км/ч.

3. Измерения проводились в момент прохождения трамвая на удалении в 20, 40 и 60 м от трамвайного полотна. Ближайшие трамвайные остановки удалены на 200–250 м.

4. Фоновый уровень инфразвука и низкочастотного звука определялся в условиях отсутствия проходящих трамваев.

5. Количество измерений составило не менее 20 на каждой контрольной точке. Длительность отдельных наблюдений от 8 до 15 секунд, что обусловлено скоростью прохождения трамвая по исследуемому участку.

Таблица 1

### Предельно допустимые уровни низкочастотного шума и инфразвука

№	Место применения норматива	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц <sup>1</sup>				УЗ эквивал. дБА <sup>1</sup>	УЗ максим. дБА <sup>1</sup>
		31,5	63	125	250		
Дневное время							
1	Жилые комнаты квартир	79	63	52	45	40	55
2	Территория, непосредственно прилегающая к жилым домам	90	75	66	59	55	70
Ночное время							
3	Жилые комнаты квартир	72	55	44	35	30	45
4	Территория, непосредственно прилегающая к жилым домам	83	67	57	49	45	60
№	Место применения норматива	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц <sup>2</sup>				Общий уровень звукового давления, дБ Лиин <sup>2</sup>	
		2	4	8	16		
5	Жилые комнаты квартир	75	70	65	60	75	
6	Территория, непосредственно прилегающая к жилым домам	90	85	80	75	90	

Примечание. УЗ – уровень звука.

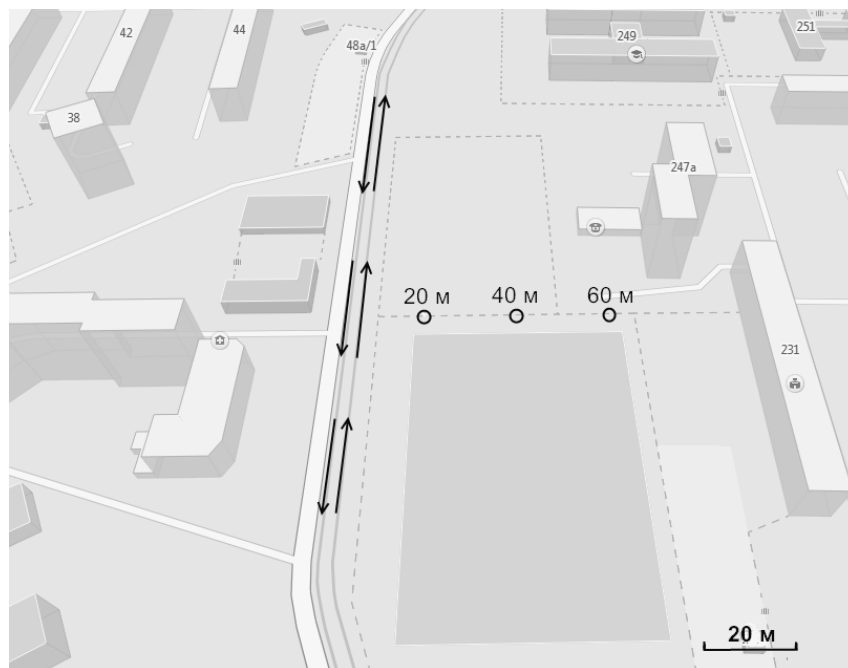


Рис. 1. Карта-схема маршрута наблюдений. Стрелками обозначено направление движения трамваев

<sup>1</sup> ГОСТ 12.1.003-83. Шум. Общие требования безопасности. Минздрав. М., 1984. 14 с.

<sup>2</sup> СН 2.2.4/2.1.8.583-96. Инфразвук на рабочих местах, в жилых и общественных помещениях и на территории жилой застройки. Минздрав. М., 1997. 5 с.

### Результаты и их обсуждение

Подтверждена зависимость [2; 3] низкочастотных звуковых колебаний от времени года и расстояния на разных участках удаления от источника акустического сигнала. Результаты измерений отражены в табл. 2 и 3.

Таблица 2

#### Снижение уровня инфразвука в летнее и зимнее время года в первые 60 метров

Параметры	Лето			Зима		
	фон, дБ	разница в уровне инфразвука через 40 м, дБ	коэффициент корреляции	фон, дБ	разница в уровне инфразвука через 40 м, дБ	коэффициент корреляции
1,6	40,0	2,27	-0,904	50,0	0,84	-0,307
2,0	38,6	0,84	-0,476	43,1	1,67	-0,449
2,5	37,8	0,05	-0,021	37,8	0,41	-0,321
3,15	39,1	1,08	-0,280	49,9	3,84	-0,629
4	37,0	0,49	-0,113	49,6	4,35	-0,734
5	36,8	0,9	-0,216	48,0	3,82	-0,605
6,3	37,6	2,18	-0,742	44,3	1,89	-0,537
8	40,3	1,05	-0,392	57,1	1,61	-0,351
10	42,4	2,19	-0,789	49,6	2,65	-0,884
12,5	43,6	4,14	-0,971	48,9	3,6	-0,982
16	43,7	1,32	-0,779	49,0	5,01	-0,918
20	45,2	1,98	-0,378	48,8	3,71	-0,999

Таблица 3

#### Снижение уровня низкочастотного звука в летнее и зимнее время года в первые 60 метров

Параметры	Лето			Зима		
	фон, дБ	разница в уровне низкочастотного звука через 40 м, дБ	коэффициент корреляции	фон, дБ	разница в уровне низкочастотного звука через 40 м, дБ	коэффициент корреляции
25	49,8	1,82	-0,733	49,2	4,12	-0,969
31,5	52,3	2,89	-0,789	50,3	4,67	-0,968
40	53,2	5,08	-0,796	43,8	8,3	-1,0
50	52,6	4,84	-0,866	43,6	9,24	-1,0
63	50,9	3,89	-0,968	41,0	10,68	-0,994
80	48,9	5,78	-0,963	38,1	9,92	-0,992
100	46,9	6,47	-0,936	36,1	9,23	-0,977
125	44,8	5,9	-0,986	35,9	11,08	-0,987
160	42,8	5,14	-0,999	37,9	9,45	-0,986
200	40,3	6,65	-0,996	36,1	9,37	-0,959
250	37,9	8,29	-0,993	35,5	7,68	-0,894
эквивалентный	61,4	4,16	-0,769	64,1	3,9	-0,809

Интенсивность уровня инфразвука и звука низкочастотного диапазона закономерно снижается при удалении от источника излучения. Уменьшение не является константой и зависит кроме внешних факторов еще и от частотного интервала (октавы) звуковой волны. В ходе эксперимента рассматривалось снижение уровня звука от участка трамвайного пути на удалении до 60 м от дороги. При многократном повторении измерений выявилась недостаточная связь зависимости снижения уровня инфразвука в третьоктавном частотном диапазоне до 10 Гц как в зимнее, так и в летнее время года (рис. 2). Низкочастотный уровень звука получил более четкую зависимость, коэффициент корреляции близок к единице (рис. 3).

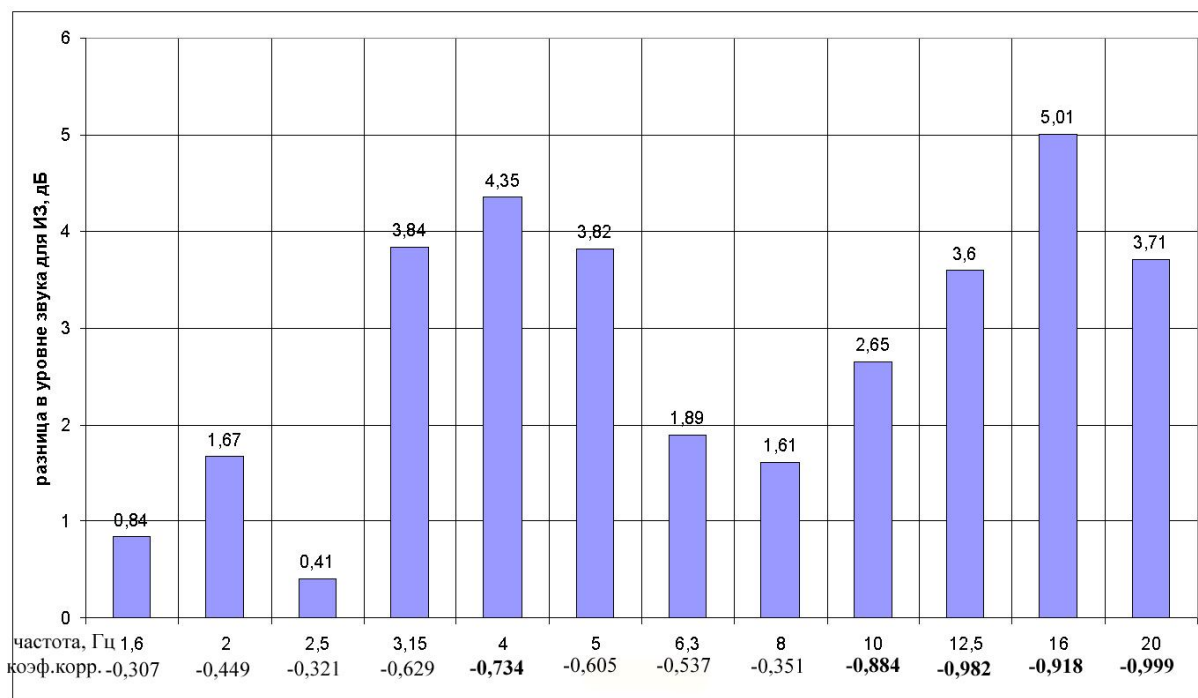


Рис. 2. Снижение разницы в уровне инфразвука в третьоктавном частотном интервале

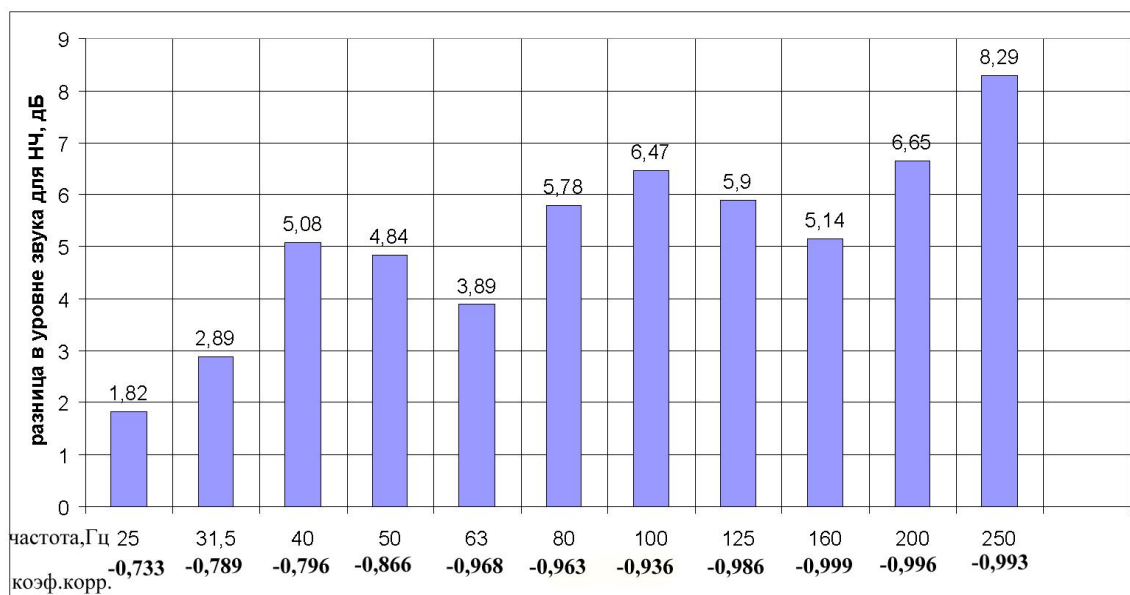


Рис. 3. Снижение разницы в уровне низкочастотного звука в третьоктавном частотном интервале

Для установления влияния расстояния на распространение шума используется однофакторный дисперсионный анализ. Фактором является расстояние, которое принимает три уровня: 20, 40, 60.

Сравниваются факторная дисперсия, порождаемая действием фактора, и остаточная дисперсия, порождаемая случайными причинами. Если различие между этими факторами значимо, то фактор оказывает существенное влияние, в этом случае средние значения наблюдаемых величин на уровнях различаются значимо. Для проверки гипотезы о равенстве средних используем статистику  $F$ , имеющую распределение Фишера–Снедекора [6]. Наблюдаемое значение вычисляется по формуле

$$F_{\text{набл}} = \frac{S_{\text{факт}}^2}{S_{\text{ост}}^2}$$

Число степеней свободы числителя равно 2, знаменателя – 57, уровень значимости  $\alpha = 0,01$ , поэтому  $F_{\text{крит}} = 4,998$ .

Результаты вычислений сведены в табл. 4.

Таблица 4

#### Наблюдаемые значения статистики Фишера-Снедекора

Зима		Лето	
частота, Гц	$F_{\text{набл}}$	частота, Гц	$F_{\text{набл}}$
2	3,57	2	1,6
4	3,08	4	2,65
8	7,85	8	7,97
16	14,9	16	5,86
31,5	12,6	31,5	11,85
63	36,79	63	13,5
125	37,9	125	52,55
250	106,6	250	22,81

Из полученных значений (табл. 4, 5) видно, что для частот 2 Гц и 4 Гц и зимой и летом выполняется неравенство  $F_{\text{набл}} < F_{\text{крит}}$ , что означает, что на уровне значимости 0,01 мы не можем отвергнуть нулевую гипотезу о равенстве средних, для этих частот не выявлено существенного различия при разных расстояниях. Для всех остальных частот (8, 16, 31.5, 63, 125, 250) выполняется неравенство  $F_{\text{набл}} > F_{\text{крит}}$ , поэтому на уровне значимости 0,01 влияние расстояния в этих случаях существенное.

Для третьоктавных частот результаты однофакторного дисперсионного анализа приведены в табл. 5:

Таблица 5

#### Результаты однофакторного дисперсионного анализа по временам года

Частота, Гц	$F_{\text{набл}}$ , зима	$F_{\text{набл}}$ , лето
1,6	0,17	0,62
2	0,041	0,33
2,5	0,0197	0,71
3,15	1,59	1,93
4	1,36	3,14
5	1,57	3,69
6,3	1,9	3,21
8	7,18	3,35
10	2,45	6,59
12,5	8,87	14,89
16	20,26	2,07
20	5,89	2,11
25	7,08	2,32
31,5	7,71	6,82
40	14,5	17,12
50	21,75	10,4
63	47,34	9,42
80	32,42	20,31
100	22,49	38,6
125	41,83	48,15
160	43,82	31,33
200	66,38	25,55
250	48,72	16,92

Для частот 1,6, 2, 2,5, 3,15, 4, 5, 6,3 и зимой и летом влияние расстояния не является значимым, для частот 12,5, 31,5, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250 влияние расстояния является значимым, для частот 8, 10, 16, 20, 25 влияние расстояния оказалось выраженным слабее и, скорее всего, сказало влияние других факторов (например: порывы ветра, случайные внешние звуковые сигналы).

### Заключение

Исходя из данных наблюдений, на расстоянии 60 м от трамвайных путей уровень звукового давления инфразвука зимой понижается в среднем на 5 дБ, летом – на 2 дБ. На расстоянии 60 м от трамвайных путей уровень звукового давления низкочастотного звука зимой понижается в среднем на 8 дБ, летом – на 5 дБ. Данная ситуация объясняется тем, что снег обладает большей поглощающей и меньшей отражающей способностью звуковых волн по сравнению с поверхностью, лишенной снежного покрова. В частотном диапазоне инфразвука на малых расстояниях до 60 м выражен избирательно: как в летнее, так и в зимнее время уровень инфразвука до 10 Гц понижается, но слабая и умеренно слабая корреляционная связь (табл. 2 и рис. 2) показывает неубедительность таких выводов. С 10 Гц и особенно с 12,5 Гц можем наблюдать сильную связь, подтверждающую, что уже на расстоянии 40 метров интенсивность инфразвука стабильно начинает снижаться от 2 до 5 дБ.

Более явная зависимость наблюдается при рассмотрении низкочастотного звука. Исходя из данных табл. 3 и рис. 3, можно отметить увеличение разницы в снижении уровня звука для низкочастотного звука на расстоянии от 20 м до 60 м на 2–3 дБ для 25 Гц и до 8 дБ для 250 Гц.

Таким образом, с увеличением частоты инфразвука и низкочастотного звука в ходе мероприятий по достижению санитарных нормативов рассматриваемых акустических сигналов, при небольших превышениях интенсивности звука, можно применять «эффект расстояния» с 50 метров. Это позволит учитывать снижение уровня звука до заданных значений на контрольных пунктах.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зинкин В.Н., Солдатов С.К., Богомолов А.В., Драган С.П. Актуальные проблемы защиты населения от низкочастотного шума и инфразвука // Технологии гражданской безопасности. 2015. Т. 12, № 1 (43). С. 90-96.
2. Гагарин С.А., Рожихин Н.С. Транспорт как источник инфразвука на территории г. Ижевска // Вопросы прикладной и региональной географии и экологии: материалы Всеросс. науч.-практ. конф. с междунар. участием / ред. И.И. Рысин и др. Ижевск: Удм. ун-т, 2014. С. 175-181.
3. Гагарин С.А., Рожихин Н.С. Воздействие на окружающую среду от низкочастотного шума и инфразвука от трамваев на примере г. Ижевска // Защита от повышенного шума и вибрации: Тез. докл. V Всеросс. науч.-практ. конф. с междунар. участием / под ред. Н.И. Иванова. СПб.: Айсинг, 2015. С. 419-423.
4. Марков С.Б., Пименов И.К., Пшенин В.Н. Исследование вибрационного воздействия, обусловленного движением трамваев в городских условиях // Защита от повышенного шума и вибрации: сб. докл. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием / под ред. Н.И. Иванова. СПб., 2013. С. 578-596.
5. Марков С.Б. Экспериментальное исследование вибрационного воздействия обусловленного движением трамваев // Защита от повышенного шума и вибрации: тез. докл. V Всеросс. науч.-практ. конф. с междунар. участием / под ред. Н.И. Иванова. СПб.: Айсинг, 2015. С. 498-515.
6. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшая школа, 2004. 407 с.

Поступила в редакцию 17.10.15

*S.A. Gagarin, N.S. Rozhikhin, L.I. Romanov*

### TRAM AS A SOURCE OF LOW FREQUENCY SOUND AND INFRASOUND

The paper presents the results of research of the following dependence: the decrease in the level of low frequency sound and infrasound with distance. It is revealed that significant reduction in low-frequency acoustic signal starts from 10 Hz by 2–3 dB. A preliminary conclusion is made that in conditions of urban development real reduction in infrasonic frequencies should be considered from 10 to 20 Hz. Attenuation of infrasound in this frequency range can reach 2–5 dB. A more pronounced decrease in the intensity of the sound pressure falls to low-frequency sound up to 250 Hz. The results of measurements showed that the sound pressure level is reduced at 60 meters by 8 dB in winter and by 5 dB in summer. At the distance of 50 m and more from a tramline, in the simulation one can take into account the “distance effect”.

*Keywords:* low frequency sound, infrasound, equivalent sound.

Гагарин Сергей Александрович,  
старший преподаватель кафедры  
экологии и природопользования  
E-mail: 2002gsa@mail.ru

Рожихин Никита Сергеевич, аспирант кафедры  
экологии и природопользования  
E-mail: nikita.rozhihin@mail.ru

Романов Леонид Иванович,  
кандидат физико-математических наук, доцент кафедры  
геодезии и геоинформатики Института естественных наук  
E-mail: romanovli@mail.ru

ФГБОУ ВПО «Удмуртский государственный университет»,  
Институт естественных наук  
426034, Россия, г. Ижевск, ул. Университетская, 1 (корп. 1)  
E-mail: rrb@uni.udm.ru

Gagarin S.A.,  
Senior lecturer at Department of ecology  
and environmental management  
E-mail: 2002gsa@mail.ru

Rozgihin N.S., postgraduate student at Department  
of ecology and environmental management  
E-mail: nikita.rozhihin@mail.ru

Romanov L.I.,  
Candidate of Physics and Mathematics,  
Associate Professor at Department  
of geodesy and cartography  
E-mail: romanovli@mail.ru

Udmurt State University  
Universitetskaya st., 1/1, Izhevsk, Russia, 426034  
E-mail: rrb@uni.udm.ru