

УДК: 534.836.2:534.832
OECD: 01.02.AA

Шум автомобильного транспорта

Васильев В.А.¹, Ксенофонтова В.К.²

¹ Соискатель, ² Аспирант

^{1,2} Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова, Россия, г. Санкт-Петербург

Аннотация

Показано, что основным фактором негативного воздействия на окружающую среду является шум автомобильного транспорта. Рассматриваются причины возникновения шума автотранспорта, как единичных источников шума, так и автотранспортного потока. Описаны явления, влияющие на распространение и затухание звука. Представлена общая информация о методах определения шумовой характеристики автотранспортного потока с помощью натурных измерений. Рассмотрен вопрос нормирования шума в России и других странах. Дано представление об основных шумозащитных мероприятиях для автотранспортного потока. Показаны существующие проблемы, связанные с оценкой шума автотранспортного потока.

Ключевые слова: шум, шум транспортного потока, расчёт шума, распространение шума, снижение шума, шумозащитные экраны, нормирование шума.

Highway Traffic Noise

Vasilyev V.A.¹, Ksenofontova V.K.²

¹ Applicant, ² Post graduate student

^{1,2} Baltic State Technical University «VOENMEH» named after D.F. Ustinova, Russia, St. Petersburg

Abstract

It is shown that the key factor of the adverse environmental impact is the motor vehicle noise. The causes of the motor vehicle noise from individual noise sources and traffic flow are considered. Phenomena affecting the sound propagation and attenuation are described. General information about methods for determining the traffic flow noise characteristics using in-situ measurements is presented. The issue of noise regulation in Russia and other countries is considered. An idea of the main traffic noise mitigation measures is given. The existing problems related to the traffic noise estimation are shown.

Keywords: noise, traffic flow noise, noise calculation, noise propagation, noise reduction, noise barriers, noise regulation

Введение

В качестве одного из основных факторов негативного воздействия на окружающую среду сегодня рассматривают шум автомобильного транспорта. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) признает шум, как серьезную и широко распространенную

*E-mail: viktoria1107568@mail.ru (Ксенофонтова В.К.)

опасность для здоровья человека. Шум оказывает негативное воздействие на нервную и сердечно-сосудистую системы, репродуктивную функцию человека, вызывает раздражение, нарушение сна, утомление, агрессивность, способствует психическим заболеваниям. ВОЗ сообщает «... по меньшей мере, один миллион лет здоровой жизни теряется каждый год от воздействия повышенного шума, в западной части Европы» [1]. Данная ситуация вызывает всё большую озабоченность.

С целью минимизировать влияние автомобильного шума, необходимо понимать природу возникновения шума автомобильного потока, как происходит распространение шума, и какие методы снижения шума существуют. На рисунке 1 показаны основные элементы воздействия автомобильного шума.

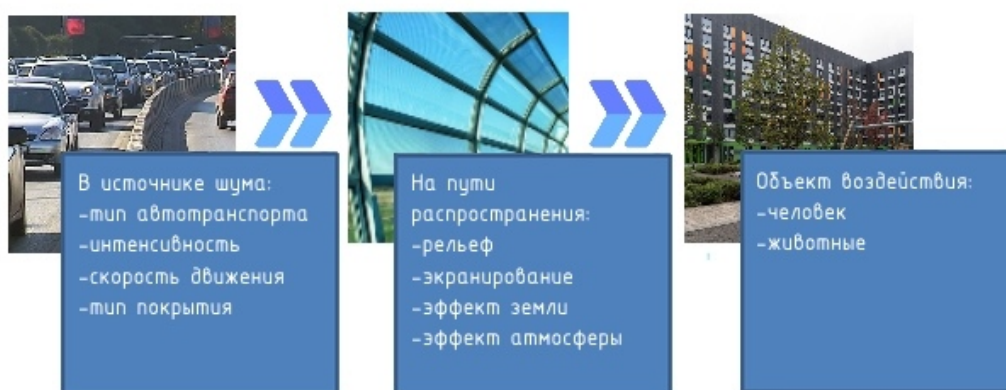


Рис. 1. Схема воздействия шума

1. Источники автотранспортного шума

Основными источниками автотранспортного шума являются: шум при взаимодействии шин с дорожным полотном (40 — 120 км/ч), аэродинамический шум корпуса автомобиля (турбулентные потоки) (превалирует на скорости от 120 км/ч), и шум, вызванный агрегатами автомобиля (двигатель, выхлоп, трансмиссия и др.) (превалирует на скорости до 40 км/ч) [2, 3, 4].

Взаимодействие между шинами и дорожным покрытием является сложным процессом, включающим аэродинамический шум вращения колеса и шины, шум от вибрации поверхности шины и взаимодействия с дорожным покрытием, а также, колебание давления в элементах протектора [5]. На шум автомобильных шин влияют такие параметры, как рисунок протектора, конструкция шипов и ламелей, давление в шине, габаритные размеры, а также, тип и состояние дорожного покрытия, по которому осуществляется движение [6]. Увеличение ширины и угла канавки протектора, добавление к поперечным канавкам кольцевых и «рандомизация» рисунка протектора приводят к снижению шума [7].

В действующей нормативной документации рассматриваются три типа покрытий проезжей части: бетон (шероховатая поверхностная обработка), асфальтобетон и щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА). Наиболее тихим, в соответствии с нормативной документацией [8], является покрытие ЩМА. Стоит отметить, что на шумность покрытий влияет зернистость содержащихся гранул и остаточная пористость (меньший размер гранул и высокая пористость формируют более тихие покрытия). Что касается бетонных покрытий, то на их шумность влияет текстура поверхности [6]. Важной задачей является поддержание акустических свойств малошумных покрытий

на период эксплуатации. В данный момент ведутся работы по разработке малозумных покрытий с повышенной долговечностью.

Уровни шума и спектральный состав зависят от характеристик автотранспортного потока: интенсивности, скорости, состава, а также, от типа дорожного покрытия. По спектральному составу для пассажирского и легкового транспорта, как правило, характерны частоты около 1000 Гц, для грузового транспорта от 500 до 1000 Гц [6]. Высокий процент грузового и общественного автотранспорта, оказывает сильное влияние на шумовую характеристику автотранспортного потока (один тяжелый грузовик может быть равен по громкости 10 легковым автомобилям вместе взятым) [9]. Соответственно, и эффективность малозумных покрытий выше, для легковых и пассажирских транспортных средств.

2. Определение шумовой характеристики автомобильного потока

В качестве шумовых характеристик транспортного потока, в состав которого могут входить легковые и грузовые автомобили, автопоезда, автобусы, троллейбусы, в ГОСТ 20444-2014 «Шум. Транспортные потоки» [10] установлены эквивалентный $L_{\text{экв}}$ и максимальный $L_{\text{макс}}$ уровни звука, создаваемые потоком в опорной точке на расстоянии 7,5 м от оси, ближайшей к расчетной точке (точке наблюдения), полосы движения автомобильного транспорта и на высоте 1,5 м над уровнем проезжей части.

На стадии разработки проекта, детальной планировки или проекта застройки, расчет шумовых характеристик автомобильных транспортных потоков в соответствии с [8, 11] следует выполнять с учетом:

- интенсивности движения автотранспорта в часы пик дневного периода суток и наиболее шумный час ночного периода суток;
- суммарной доли грузовых автомобилей и автобусов в потоке (при этом, если не исследуется по отдельности влияние на шум потока троллейбусов и трамваев, то для расчета шумовых характеристик учитывают суммарную долю грузовых автомобилей и общественного транспорта);
- средней скорости движения автотранспорта в потоке.

Для повышения точности расчета шумовых характеристик автомобильных транспортных потоков в соответствии с [8, 11] необходимо учитывать ряд дополнительных параметров, связанных с рассматриваемой улицей (дорогой), таких как:

- продольный уклон проезжей части улицы (дороги);
- тип верхнего покрытия проезжей части;
- ширина разделительной полосы (при ее наличии);
- число полос движения транспорта;
- длительность светофорного цикла на пересечениях улиц (дорог) со светофорным регулированием (длительность разрешающей/запрещающей фазы светофора).

На данный момент, действующая в России нормативная документация по расчёту шумовой характеристики автомобильного потока [8, 11], при сравнении с результатами измерений показывает расхождение в большую сторону – до 20 дБА по эквивалентному уровню звука и до 11 дБА по максимальному уровню звука при прочих равных данных. Наибольшую сходимость показывает расчёт по формуле 7 СП 276.1325800.2016 до 8 – 10 дБА. Причинами такого расхождения, вероятнее всего, является изменение шумности транспортных средств, так как с каждым годом выпускаемые автомобили становятся всё более тихими, что в свою очередь снижает шумность транспортного потока. А формулы, представленные в действующей нормативной документации, основываются или полностью дублируют литературные источники [12, 13], которые в

свою очередь были опубликованы более 25 лет назад [14, 15].

3. Распространение шума автотранспортного потока

Транспортный поток, независимо от его интенсивности, рассматривается и как линейный источник шума (что значительно упрощает расчёты). Однако, следует иметь в виду, что это допущение справедливо только для тех случаев, когда шумовой характеристикой потока, лежащей в основе расчета, является эквивалентный уровень звука за период времени, превышающий продолжительность прохождения транспортного средства. Полное формирование акустического поля от транспортного потока происходит на расстоянии 7,5 м. На распространение шума влияют: геометрическая дивергенция, эффект затухания из-за влияния земли, атмосферные эффекты и эффект дифракции.

На рисунке 2 представлена схема распространения шума от транспортного потока. Рассматриваются два пути распространения шума прямой и вдоль поверхности земли. Прямой путь распространения характерен для грузовых автомобилей, для легковых характерен путь вдоль поверхности земли. На распространение вдоль поверхности земли оказывает влияние наличие травы, рыхлость и другие параметры, увеличивающие звукопоглощение подстилающей поверхности, что накладывает дополнительный эффект затухания около 1,5 дБА на удвоение расстояния. В ГОСТ 31295.2-2005 раздел 7.3 представлена более детальная схема расчёта эффекта затухания из-за влияния земли с учётом различных типов покрытий в зоне источника (малозумный асфальт, грунтовая обочина) и приёмника.

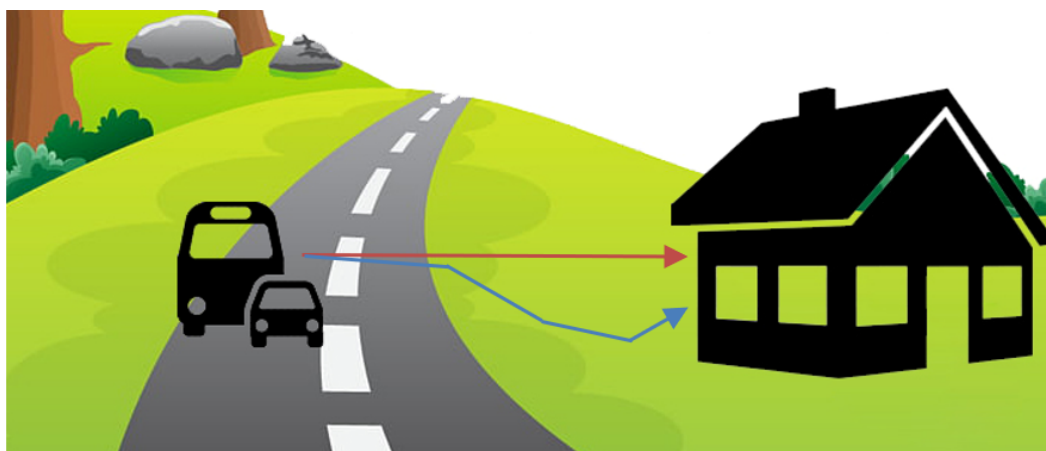


Рис. 2. Схема распространения шума [6]

Наряду с эффектами затухания из-за наличия звукопоглощающей или отражающей поверхности, необходимо учитывать атмосферные эффекты. Поглощение воздуха проявляется на частотах выше 2000 Гц и в небольшой степени зависит от влажности. В большей степени на распространение шума влияет преломление звуковой волны в результате действия ветра (скорость ветра в зависимости от высоты над уровнем земли и направления), изменение температуры с высотой [23].

Прямое распространение звуковой волны, без преломлений, возникает в безветренный, облачный день, с равной температурой по высоте. При условиях «против ветра», происходит преломление звуковой волны вверх, уровень звука у земли становится ниже, чем в нейтральных условиях. При попутной погоде уровень звука у земли выше. Преломление звуковой волны вверх происходит в солнечные и безветренные дни, когда у земли температура воздуха выше, в этих условиях уровень звука у земли становится ниже. Преломление звуковой волны вниз происходит в

безветренные прохладные ночи после солнечных дней, когда земля остывает быстрее, чем воздух над ней, и в этих условиях звук становится выше у земли [23]. Иллюстрации описанных выше явлений можно увидеть на рисунке 3. Исследования показали, что рефракционные эффекты весьма существенны. Одно из исследований показало, что уровни звука варьируются на 5 дБА на расстоянии около 60 метров от автодороги и на 10 дБА на расстоянии 300 метров. Самые высокие уровни звука были измерены в условиях инверсии температуры на рассвете [17].

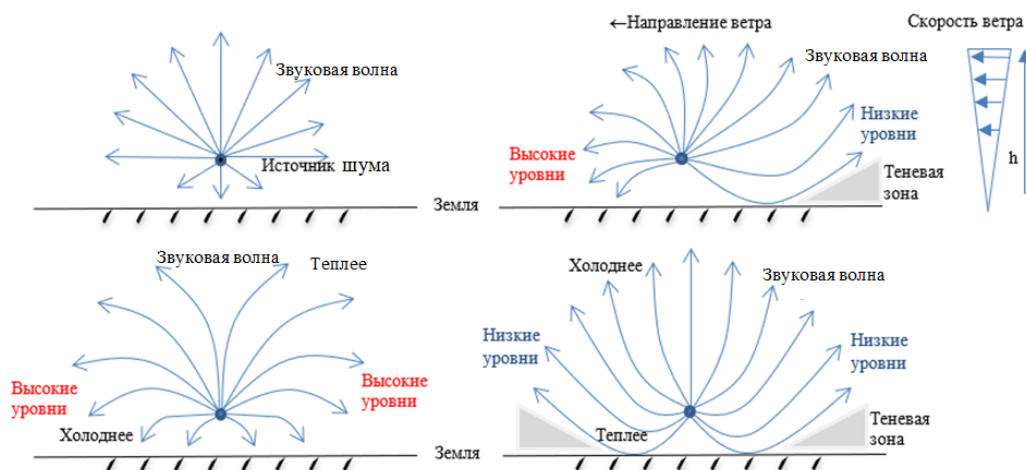


Рис. 3. Распространение звука в зависимости от атмосферных эффектов [23]

На распространение шума дорожного движения влияют естественные или искусственные объекты, которые полностью или частично блокируют путь прохождения звуковой волны, что приводит к снижению уровня звука. Элементами, оказывающие экранирующий эффект, являются: рельеф, зеленые насаждения (на высоких частотах), здания, выемки, насыпи, заборы, шумозащитные экраны, подпорные стенки, земляные валы и др.

4. Методы натурного определения шума автотранспортного потока

В РФ натурные измерения проводятся на основании ГОСТ 20444-2014 «Шум. Транспортные потоки. Методы определения шумовой характеристики». Проводятся измерения шумовой характеристики автомобильной дороги, включая легковые и грузовые автомобили, автопоезда, автобусы, троллейбусы, трамваи, мотосредства (мотоциклы, мотороллеры, мопеды, мотовелосипеды), а также другие виды транспортных средств, на расстоянии 7,5 м от ближайшей оси автодороги, на высоте 1,5 м. По ГОСТ Р 53187-2008 «Акустика. Шумовой мониторинг городских территорий» проводятся измерения на различных расстояниях при удалении от автомобильной дороги, на высоте 1,5 м. Стоит отметить, что расчётные методики [8, 11, 12, 13] не предусматривают учёт движения мотосредств, при определении шумовой характеристики автотранспортного потока.

В нормативной документации, действующей на территории США [21], предусматривается проведение измерений на расстояние 15 м от ближайшей оси автодороги, на высоте 1,5 м. При этом возможно проводить измерения на расстояние 7,5 и 30 м.

5. Нормирование

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) рекомендует следующий подход к выбору норм – независимо от источника шума и месторасположения нормируемых

объектов нормы должны быть одинаковыми, так, например, сделано в Германии, изменяться нормы должны только в зависимости от времени суток. Рекомендации ВОЗ представлены в таблице 1 [18, 20].

Таблица 1

Нормы шума в помещениях жилых и общественных зданий и шума на территории жилой застройки, рекомендуемые ВОЗ [18, 20]

Месторасположение	Нормы шума L_{Aeq} , дБА			
	Дневной период (7:00-23:00)		Ночной период (23:00-7:00)	
	В помещении	На территории	В помещении	На территории
Жилая застройка	35	55	-	-
Спальни	-	-	30	Не выше 45
Школы	35	55	-	-
Больницы	Не выше 35	Не выше 50	30	Не выше 45

Нормы, принятые в нашей стране, в большинстве случаев соответствуют рекомендациям ВОЗ. Основным документом, регламентирующим их, является СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки». В таблице 2 приведены нормы шума в помещениях и на территории для нормируемых объектов аналогичным рекомендациям ВОЗ, принятые в РФ [19].

Таблица 2

Допустимые уровни звукового давления, уровни звука, эквивалентные и максимальные уровни звука проникающего шума в помещениях жилых и общественных зданий и шума на территории жилой застройки [19]

Месторасположение	Нормы шума L_{Aeq} , дБА			
	Дневной период (7:00-23:00)		Ночной период (23:00-7:00)	
	В помещении	На территории	В помещении	На территории
Жилая застройка	40	55	30	45
Спальни	40	55	30	45
Школы	40	55	-	45
Больницы	35	45	25	35

По мнению авторов, отечественные нормы шума являются в целом полными и продуманными. Помимо эквивалентного уровня звука в них также нормируется максимальный уровень звука. Так же, большим достоинством этих норм является то, что помимо уровней звука, дБА приняты и допустимые значения уровней звукового давления, дБ. В то же время, если основываться на данных о различном воздействии шума в зависимости от характера источников, можно было бы дифференцировать нормы по трем группам основных источников (автомобильный и железнодорожный транспорт, строительство). Принятие таких норм могло бы принести определенный экономический эффект [12].

6. Снижение шума автомобильного транспорта

Методы снижения шума автотранспортного потока подразделяются на три больших группы: снижающие шум в источнике, снижающие шум на пути распространения, в защищаемом объекте.

Для автотранспортного потока предполагаются следующие шумозащитные мероприятия:

- В источнике: использование малошумного асфальта, мягкой резины покрышки, исключение движения на шипованной резине в теплый период времени года, снижение шума выхлопа, улучшение аэродинамических характеристик автотранспорта, контроль работы двигателя;
- На пути распространения: выемки (Рисунок 4, а), шумозащитные экраны (Рисунок 4, б), земляные валы, насыпи и др.;
- В защищаемом объекте: звукоизолирующее остекление (Рисунок 5, а) с установкой клапанов проветривания (Рисунок 5, б).



Рис. 4. Варианты исполнения шумозащитных мероприятий на пути распространения шума. а) Выемки, б) Шумозащитный экран

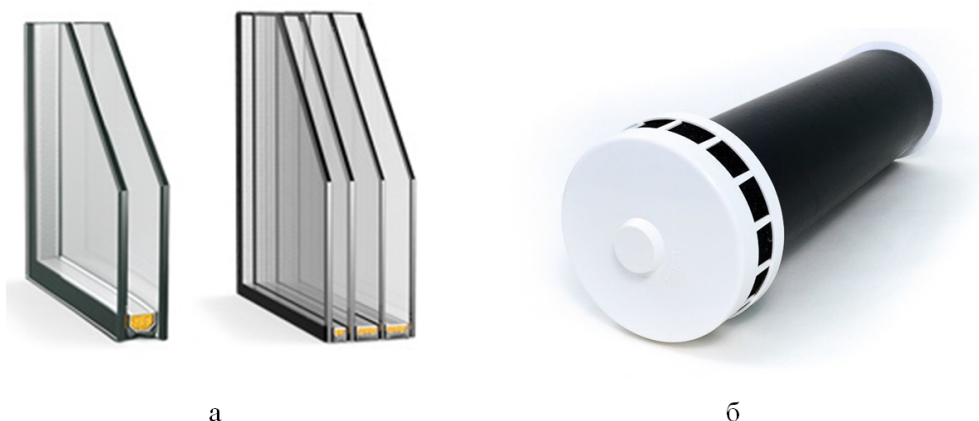


Рис. 5. Варианты исполнения шумозащитных мероприятий в защищаемом объекте
а) Звукоизолирующее остекление, б) Клапан проветривания

Наиболее частой мерой борьбы с шумом являются шумозащитные экраны, устанавливаемые вдоль автодорог, закрывающие прямой путь распространения звука (до 5 дБА), данной эффективности легко достичь. Достижение эффективности 10 дБА требует уменьшения звуковой энергии на 90%, достижение данной эффективности требует

существенно большей затраты средств. К примеру, средняя цена (по Санкт-Петербургу) шумозащитного экрана, с учетом монтажа, стоек и панелей, составляет 21 000 рублей за квадратный метр. Высокая стоимость шумозащитных экранов требует повышения точности моделирования и прогнозирования уровней шума.

Таблица 3

Допустимые уровни звукового давления, уровни звука, эквивалентные и максимальные уровни звука проникающего шума в помещениях жилых и общественных зданий и шума на территории жилой застройки [19]

Эффективность, дБА	Степень сложности достижения	Снижение звуковой энергии, %
5	Легко	68
10	Достижимо (возможно)	90
15	Сложно	97
20	Очень сложно	99

Существует множество комбинаций материалов для панелей шумозащитного экрана. Наиболее важными факторами являются: применение материалов с достаточной звукоизоляцией для исключения проникновения шума через шумозащитный экран; сплошность поверхности ШЭ, без разрывов и щелей. Для исключения эффекта отражения, в случае параллельной установки ШЭ на противоположных сторонах дороги, и переотражения, между ШЭ и автотранспортном (особенно проявляется при проезде высокого автотранспорта), рекомендуется выполнять панели со звукопоглощающим наполнением, при этом необходимо устанавливать перфорированные листы со стороны источника шума. В некоторых случаях, установка шумозащитных экранов не осуществима или их эффективность недостаточна. В этом случае можно использовать упомянутые ранее мероприятия: малошумный асфальт, исключение движения на шипованной резине в теплый период времени года, звукоизолирующее остекление с установкой клапанов проветривания, управление движением, строительство шумозащитных сооружений.

7. Существующие проблемы

Существует несколько проблем, связанных с оценкой шума дорожного движения. Некоторые из них кратко представлены ниже:

Изменение шумовых характеристик автомобильного транспорта

Со временем шумность автомобилей меняется, с каждым годом выпускаемые автомобили становятся всё более тихими, что, в свою очередь, снижает шумность транспортного потока. Формулы, используемые на данный момент в нормативной документации, были получены, в основном, несколько десятков лет тому назад и требуют уточнения в соответствии с практикой.

Малошумные покрытия

Всё большее внимание уделяют малошумным покрытиям. Основной задачей этих исследований является получение покрытий с наилучшими акустическими свойствами, без ущерба их долговечности, и решение задач по постоянному поддержанию материала в рабочем состоянии.

Влияние шума на дикую природу

Человечество проявляет беспокойство, о неблагоприятном воздействии дорожного шума на дикую природу. Существуют серьезные опасения по поводу шума, мешающего взаимодействию животных, их миграции и размножению. Многие проекты автомагистралей проходят через районы дикой природы, и инженеры не имеют адекватных инструментов для оценки соответствующих воздействий и борьбы с загрязнением.

Заключение

1. Проблема шумового воздействия автомобильного транспорта, хоть и является достаточно изученной, но требует актуализации, в соответствии с существующими реалиями, это в частности относится к расчётным формулам, определяющим шумовую характеристику и показывающим расхождение с результатами измерений до 11-20 дБА.

2. Анализ существующих в России норм показал необходимость градации их в соответствии с характером источников шума. Можно было бы дифференцировать нормы по трем группам (автомобильный и железнодорожный транспорт, строительство).

3. Большого внимания требуют такие вопросы как: изучение, разработка и внедрение малозумных покрытий, а также, вопрос защиты дикой природы от шума автомобильного транспорта.

Список литературы

1. World Health Organization // Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe – 2011. – pp.7-11.
2. Асафьева Н. Спасите наши уши! // Город 812. [электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://gorod-812.ru/spasite-nashi-ushi/> (дата обращения 15.01.2020).
3. Gheorghe S., Liviu B., Mihai T., Vasile B., Nicolae H. // Noises and vibrations due to vehicles. // Proceedings of the 6th Mini Conference on Vehicle System Dynamics, Identification and Anomalies. – 1998. pp. 513-518.
4. Gaulin D., Berengier M. // Caracterisation des sources sonores d'origine routiere pour le milieu urbain. // Bull. lab. Fonts et Chaussees. – 1999. – № 222, pp.71-84, 94, 96, 98.
5. Васильев А.В., Комлик Е.А. // Экологическое воздействие шума, создаваемого шинами автотранспортного средства, и методы его снижения. // Известия Самарского НЦ РАН – 2011. – Т.13. №5. – С.265-269.
6. Judith L. Rochat, Darlene Reiter // Highway Traffic Noise // Acoustics Today – 2016 - Volume 12 Issue 4, Winter 2016, pp 39-41.
7. Sandberg, U., Ejsmont, J. A. // Tyre/Road Noise Reference Book // INFORMEX, Kisa, Sweden - 2002.
8. СП 276.1325800.2016. «Здания и территории. Правила проектирования защиты от шума транспортных потоков». – Введ. 2017-04-06. - Официальный сайт Минстроя РФ <http://www.minstroyrf.ru/> (по состоянию на 21.03.2017).
9. Rochat J. L. // Noise benefits of asphalt pavements – Trends at ages up to 52 months // Noise Control Engineering Journal Vol.57, – P. 104-111.
10. ГОСТ 20444-2014 «Шум. Транспортные потоки. Методы определения шумовой характеристики».
11. ОДМ 218.2.013-2011 «Методические рекомендации по защите от транспортного шума территорий, прилегающих к автомобильным дорогам» – Введ. 2012-12-26.

12. Осипов Г.Л. Защита от шума в градостроительстве. Справочник проектировщика // В.Е. Коробков, А.А. Климухин и др. – М.: Стройиздат, 1993.
13. Поспелов П.И. // Борьба с шумом автомобильных дорог. / П.И.Поспелов. – Издательство «Транспорт», 1981.
14. Васильев В.А. // Сравнительный анализ расчетных и экспериментальных методик определения шумовых характеристик автомобильного транспорта // Магистерская диссертация 20.04.01 – БГТУ. – 2019 – С. 52.
15. Васильев В.А. Сравнение шумовых характеристик автотранспортных потоков, полученных расчётным путем и в результате натурных измерений // В.А. Васильев // Сборник трудов Третьей Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Акустика среды обитания» – 2018 – С. 59.
16. National Highway Institute. Highway Traffic Noise. Material from course 142051. – 2016.
17. Saurenman H., Chambers J., Sutherland L., Bronsdon R. Atmospheric Effects // Associated with Highway Noise Propagation. – 2005. – № 555.
18. Всемирная организация здравоохранения. «Европейское руководство по контролю ночного шума». – 2014, [электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://www.euro.who.int/ru/publications/abstracts/night-noise-guidelines-for-europe> (дата обращения 12.02.2020).
19. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки». – Введ. 31-10-1996. - М.: Информационно-издательский центр Минздрава России. – 1997.
20. World Health Organization // Guidelines for community noise [electronic resource] – Available at – URL: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/66217> (date of the application 18.02.2020).
21. Federal Highway Administration (FHWA) and Volpe National Transportation Systems Center, US Department of Transportation (DOT). Measurement of Highway-Related Noise. Report No.FHWA-PD-046. – 1996.
22. Malcolm J. Crocker // Handbook of noise and vibration control, - 2007. – p. 29-30.

References

1. World Health Organization // Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe – 2011. – pp.7-11.
2. Asaf'eva N. Spasite nashi ushi! // Gorod 812. [electronic resource] – Available at – URL: <http://gorod-812.ru/spasite-nashi-ushi/> (date of the application 15.01.2020).
3. Gheorghe S., Liviu B., Mihai T., Vasile B., Nicolae H. // Noises and vibrations due to vehicles. // Proceedings of the 6th Mini Conference on Vehicle System Dynamics, Identification and Anomalies. – 1998. pp. 513-518.
4. Gaulin D., Berengier M. // Caracterisation des sources sonores d'ongine rontiere pour le milieu urbain. // Bull. lab. Fonts et Chaussees. – 1999. – № 222, pp.71-84, 94, 96, 98.
5. Vasil'ev A.V., Komlik E.A. // // Ecological impact of vehicle's tires noise and methods of it reduction // Izvestia of RAS SamSC – 2011. – Volume 13. №5. – P.265-269.
6. Judith L. Rochat, Darlene Reiter // Highway Traffic Noise // Acoustics Today – 2016 - Volume 12, №4, 2016, pp 39-41.
7. Sandberg, U., Ejsmont, J. A. // Tyre/Road Noise Reference Book // INFORMEX, Kisa, Sweden - 2002.
8. SP 276.1325800.2016. «Building and territories. Protection design rules from

traffic noise». –2017-04-06. - Official website of the Ministry of Construction of the Russian Federation, <http://www.minstroyrf.ru/> (by order of 21.03.2017).

9. Rochat J. L. // Noise benefits of asphalt pavements – Trends at ages up to 52 months // Noise Control Engineering Journal Vol.57, – P. 104-111.

10. GOST 20444-2014 «Noise. Traffic flows. Methods of noise characteristic determination».

11. Industry Road Guidance Document 218.2.013-2011 «Guidelines for the protection from traffic noise of territories adjacent to roads» [electronic resource] – Available at – URL: <http://mtsk.mos.ru/Handlers/> (date of the application 2012-12-26).

12. Osipov G.L. Zashchita ot shuma v gradostroitel'stve. Spravochnik proektirovshchika // V.E. Korobkov, A.A. Klimuhin i dr.– M.: Strojizdat, 1993.

13. Pospelov P.I. // Bor'ba s shumom avtomobil'nyh dorog. / P.I.Pospelov. – Izdatel'stvo «Transport», 1981.

14. Vasil'ev V.A. // Sravnitel'nyj analiz raschetnyh i eksperimental'nyh metodik opredeleniya shumovyh harakteristik avtomobil'nogo transporta // Master's dissertation 20.04.01 – BSTU. – 2019 – P. 52.

15. Vasil'ev V.A., Comparison of noise characteristics of motor vehicle flows obtained by calculated way and as a result of natural measurements // Proceedings of the 3rd All-Russian Conference of Young Scientists and Specialists «Acoustics of the environment»– 2018 – P. 59.

16. National Highway Institute. Highway Traffic Noise. Material from course 142051. – 2016.

17. Saurenman H., Chambers J., Sutherland L., Bronsdon R. Atmospheric Effects // Associated with Highway Noise Propagation. – 2005. – № 555.

18. World health organization «Night noise guidelines for Europe» – 2014, [electronic resource] – Available at – URL: <http://www.euro.who.int/ru/publications/abstracts/night-noise-guidelines-for-europe> (date of the application 2020-02-12).

19. Sanitary Standards 2.2.4/2.1.8.562-96 « Noise at workplaces, in premises of residential, public buildings and in residential areas». – by order of 31-10-1996.

20. World Health Organization // Guidelines for community noise [electronic resource] – Available at – URL: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/66217> (date of the application 18.02.2020).

21. Federal Highway Administration (FHWA) and Volpe National Transportation Systems Center, US Department of Transportation (DOT). Measurement of Highway-Related Noise. Report No.FHWA-PD-046. – 1996.

22. Malcolm J. Crocker // Handbook of noise and vibration control. - 2007. – pp. 29-30.