

УДК: 534.836.2
OECD: 01.03.AA

Оценка снижения уровней шума зданиями различной формы

Дроздова Л.Ф.^{1*}, Буторина М.В.², Куклин Д.А.³

¹ К.т.н., профессор, ² К.т.н., доцент, ³ Д.т.н., профессор

^{1,2,3} Кафедра «Экология и производственная безопасность»,

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»

им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, РФ

Аннотация

Транспортный шум является одним из основных факторов негативных факторов воздействия в окружающей среде. Для снижения шума при проектировании жилой застройки используются приемы шумозащитного размещения жилой застройки, которые должны быть обоснованы акустическим расчетом. Существующие в настоящее время методы оценки дифракции не позволяют оценить снижение шума за зданиями, которые расположены не параллельно к источнику шума. Для корректной оценки снижения шума за различными типами зданий разработан научно-обоснованный инженерный метод для оценки дифракции звука при различных вариантах расположения зданий относительно источника шума. Метод позволяет оценить снижение уровней шума в результате дифракции с высокой точностью. Анализ факторов, влияющих на распространение шума в застройке, проведенный при помощи разработанного метода, позволил оценить степень влияния на затухание шума геометрических параметров зданий и разрывов между ними, звукопоглощения территории и фасадов зданий, что позволило выработать рекомендации по размещению зданий, которое бы позволило снизить шум в жилой застройке.

Ключевые слова: карты шума, дифракция, шумозащитное планирование, транспортный шум, жилая застройка, распространение шума.

Evaluation of noise reduction behind buildings of different shapes

Drozдова L.F.^{1}, Butorina M.V.², Kuklin D.A.³*

¹ PhD, professor, ² PhD, assistant professor, ³ DSc, professor

^{1,2,3} The department of Ecology and Industrial Safety, Baltic State Technical University 'VOENMEH' named after D.F. Ustinov, St. Petersburg, Russia

Abstract

Traffic noise is one of the main hazardous environmental factors. To reduce noise in the design of residential buildings, the methods of noise-protective placement of residential buildings are used, which must be justified by acoustic calculation. The currently existing methods for assessing diffraction don't let to assess noise reduction behind buildings that are not-parallel to the noise source. For a correct assessment of noise reduction behind different types of buildings, a scientifically grounded engineering method has been developed to assess the diffraction of sound for various locations of buildings relative to the noise source. The method makes it possible to evaluate noise reduction due to diffraction with high accuracy. The analysis of the factors affecting the spread of noise in buildings, carried out using the developed method, made it possible to assess the degree of influence on the noise attenuation of the geometric parameters of buildings and the gaps between them, sound absorption of the territory and building facades, which made it possible to develop recommendations for planning of building with the goal to reduce noise.

Keywords: noise mapping, diffraction, noise protective planning, traffic noise, residential buildings, noise distribution.

Введение

Шум является одним из основных факторов воздействия на население как в Европе, так и в России. В странах Евросоюза 50 тыс. человек преждевременно умирает от сердечных приступов, вызванных транспортным шумом; 200 тыс. человек страдает от сердечно-сосудистых заболеваний[1]. В России за последние годы уровни негативного воздействия транспортного шума на жилую застройку, расположенную вблизи улиц с интенсивным движением, стали стабильно высокими круглосуточно: превышения допустимых уровней шума достигают 34 дБА в дневное и 43 дБА в ночное время суток. По экспертным оценкам, в РФ под действием шума транспорта, превышающего допустимые уровни, находится более трети населения.

При территориальном планировании муниципальных образований их территория зонировается с учетом основного функционального использования, а также других ограничений, накладываемых на использование территории для осуществления градостроительной деятельности, каковыми являются, в том числе, зоны акустического дискомфорта, создаваемые транспортными потоками.

Для снижения шума при проектировании жилой застройки следует использовать приемы шумозащитного размещения жилой застройки[2]. Рекомендуется использовать планировочно шумозащищенные жилые здания, которые проектируются с П-, С-образной, а также близкой к ним конфигурацией плана, с протяженностью фронта жилого здания 100 м и более, а объемов, расположенных перпендикулярно к улице, от 30 м и более, высотой не менее 20 м. В нормативной документации указано, что все приемы размещения жилой застройки, а также ее допустимая высота должны быть обоснованы акустическими расчетами.

Существуют различные методы расчета снижения шума за экранирующими сооружениями от наиболее простого метода огибания до волновых методов и новейших методов неопределенности. Основным международным методом расчета распространения шума на местности является ISO 9613-2:1996[3], которому соответствует российский ГОСТ 31295.2-2005, он позволяет корректно оценить снижение шума за линейным зданием, расположенным параллельно источнику шума при наличии дифракции на двух ребрах здания. Данная методика оценки основана на геометрическом методе огибания. Эффект экранирования может также оцениваться при помощи волновой теории дифракции, при которой отражение от препятствий оценивается путем добавления мнимого источника с использованием зоны Френеля. Оба метода имеют ряд ограничений, поэтому для корректной оценки снижения шума за шумозащитными типами зданий был разработан научно-обоснованный инженерный метод для оценки дифракции высокого порядка в застройке, дифракции звука при различных вариантах расположения зданий относительно источника шума, а также затухания шума в разрывах между зданиями.

1. Модели оценки шума

В настоящее время существует множество теорий дифракции, которые можно условно разбить на три группы. Первую группу составляют волновые теоретические методы. Вторая группа аппроксимирует волновое поле с учетом допущений Кирхгофа о том, что отношение излучательной способности любого тела к его поглощающей способности одинаково для всех тел при данной температуре для данной частоты и не зависит от их формы и состава[4]. Некоторые подходы используют допущения Кирхгофа для расчета звука, отраженного от шероховатой поверхности[5]. Третья группа упрощает теорию дифракции и учитывает только огибающие пути распространения звука вокруг препятствия[6].

Основным существующим в настоящее время методом, основанным на волновой теории дифракции, является скандинавский стандарт Nord2000[7]. Его можно использовать для расчета распространения звука от линейного источника (транспортного потока), при этом линейный источник аппроксимируется набором точечных источников с шагом менее 5 градусов. Вклад точечных источников оценивается с учетом типа и рельефа поверхности в зоне Френеля, которая формируется вокруг отраженного луча. Зона Френеля формируется на пересечении эллипсоида Френеля с поверхностью земли. Эффект экранирования оценивается при помощи волновой теории дифракции в сочетании с геометрической теорией, отражение от препятствий оценивается путем добавления мнимого источника с использованием зоны Френеля. Однако данный метод может использоваться только для дифракции второго порядка (на двух ребрах) и углов дифракции больших, чем π .

Основное упрощение волновой теории заключается в том, чтобы учитывать только самый короткий путь, по которому звук проходит от источника шума к приемнику, огибая препятствие. Наиболее распространенной теорией огибания является метод Маекавы[6]. Он был положен в основу ISO 9631-2, воплощенном в ГОСТ 31295.2-2005. В расчетном методе учитываются тип поверхности и высота источника шума и расчетной точки. Методика применения ГОСТ 31295.2-2005 на практике при наличии экранов сложной формы заключается в построении траектории через кромки экранов как ломаной линии наименьшей длины, соединяющей источник, кромку и приемник и расположенной в вертикальной плоскости, в которой находятся источник и приемник (по аналогии с резиновой лентой)[8]. Проектирование указанных траекторий в двух взаимно перпендикулярных плоскостях будет соответствовать формуле ИСО 9613-2 только в том случае, если экран находится под прямым углом к отрезку, соединяющему источник и приемник. При этом в случае дифракции более чем двух кромках, а также при непараллельном расположении экранов параметр, учитывающий расстояние между кромками экранов, становится неопределенным. Кроме того, метод стандарта ISO 9613-2 оценивает путь распространения звука от источника до расчетной точки, который проходит через несколько ребер. Этот путь всегда имеет либо исключительно правый поворот, либо исключительно левый поворот. Это означает, что данный метод не применим для зигзагообразного расположения препятствий. Следовательно, данный метод невозможно применять при наличии более чем двух ребер дифракции при разнообразном расположении зданий сложной формы, таким как шумозащитная застройка.

Для сравнения расчетных методов расчетов в жилой застройке были построены карты шума территории, прилегающей к автомобильной дороге (Гражданскому пр. в г. Санкт-Петербурге), при помощи ISO 9613-2:1996 (A) и Nord 2000 (B). Как показывает анализ расчетов, основной проблемой при оценке дифракции является оценка распространения шума в жилой застройке при наличии дифракции, т.к. разница расчетного и измеренного уровней может достигать величины до 10 дБА. Таким образом, возникает задача описания нестандартных ситуаций размещения экранирующих сооружений и расчета снижения уровня звука за ними, а также составления на основе полученных данных объективной расчетной модели, позволяющей оценить уровень шума в расчетной точке на территории застройки с наименьшей погрешностью.

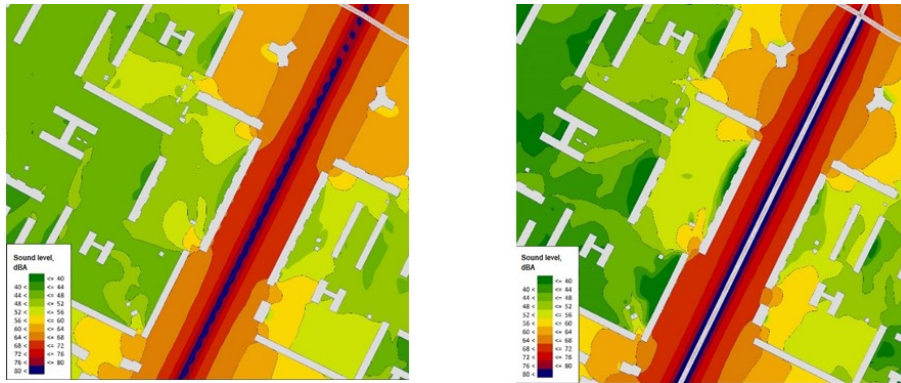


Рис. 1. Сравнение результатов расчетов дифракции звука в жилой застройке:
а) расчет по методике ISO, в) расчет по методике Nord2000

2. Новый метод оценки дифракции в застройке

Для оценки дифракции за зданиями сложной формы предлагается подход, основанный на разработке расчетных схем и математических моделей распространения шума. В основу математических моделей для расчетных формул положена теория оценки затухания шума в застройке, базирующаяся на статистической геометрической теории акустики, разработанной З. Маекавой[7] и Н.И. Ивановым[9].

В предлагаемых работах здания различных форм рассматриваются как вторичные излучатели шума. Вторичные излучатели преобразуют звуковое поле источника шума на пути его распространения до расчетной точки. При оценке дифракции через здание учитывается принцип Гюйгенса-Кутруфа[10]: препятствие экранирует нижние вторичные источники, верхние вторичные источники формируют фронт волны за экраном. При распространении звука учитывается путь звукового луча, огибающий препятствие. Отражение от элементов здания первого порядка учтено при помощи метода мнимых источников звука. В теории учитываются явления отражения, поглощения, дифракции и дивергенции звука, но не учитывается явление интерференции.

С использованием вышеуказанного подхода было произведено математическое моделирование для основных случаев распространения звука в жилой застройке, описанных при помощи следующих расчетных схем и получены расчетные формулы (таблица 1):

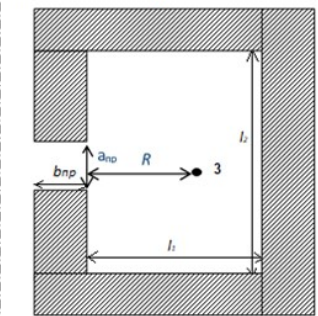
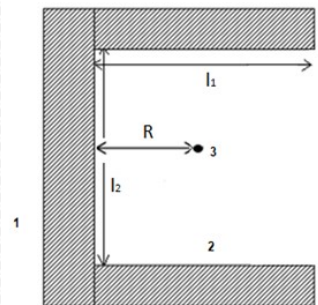
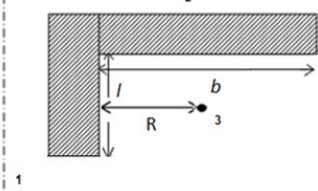
схема 1 – звук проникает через проем (арку) и переотражается в замкнутом объеме;

схема 2 – звук переотражается в П-образном или Ш-образном дворе здания, отвернутом от дороги;

схема 3 – звук распространяется за Г-образное здание, затухая за ним и отражаясь от фасада, перпендикулярного дороге.

Таблица 1

Расчетные формулы для схем

Схема	Формула
	<p>1. Распространение шума во дворе-колодце через арку</p> $L_{PT} = L_{\text{ЭКВ}} + 10 \lg \left[\frac{1}{\pi} \arctg \frac{a_{\text{пр}} b_{\text{пр}}}{2R \sqrt{4R^2 + a_{\text{пр}}^2 + b_{\text{пр}}^2}} + \frac{a_{\text{пр}} b_{\text{пр}} (1 - \alpha_{\text{з.о.}})}{\sum_{i=1}^n \alpha_i S_i} \right]$
	<p>2. Распространение шума за П- или Ш-образным зданием для $R \leq 0,4\sqrt{S}$:</p> $L_{PT} = L_{\text{ЭКВ}} + 10 \lg \left[\frac{(1 - \alpha_{\text{зд}})}{\pi^3 a} \arctg \frac{l}{2a} \arctg \frac{lh}{2R \sqrt{4R^2 + l^2 + h^2}} + \frac{4l(1 - \alpha_{\text{з.о.}})}{\sum_{i=1}^n \alpha_i S_i} \right]$ <p>для $R \leq l/\pi$:</p> $L_{PT} = L_{\text{ЭКВ}} + 10 \lg \left[\frac{(1 - \alpha_{\text{зд}})h}{2\pi^3 a R} \arctg \frac{l}{2a} \arctg \frac{l}{2R} + \frac{4l(1 - \alpha_{\text{з.о.}})}{\sum_{i=1}^n \alpha_i S_i} \right]$
	<p>3. Затухание за Г-образным зданием</p> $L_{PT} = L_{\text{ЭКВ}} + 10 \lg(1 - \alpha_{\text{зд}}) + 10 \lg \left[\frac{h}{2\pi^2 a R} \arctg \frac{l}{2a} \arctg \frac{l}{2R} + \frac{2}{l} \arctg \frac{b}{l} \right] - 10 \lg \pi$

где 1 – поток транспорта, 2 – здание, 3 – расчетная точка, $L_{\text{ЭКВ}}$ – УЗ у верхнего ребра здания, дБА; l – длина здания, м; a – ширина здания, м; h – высота здания, м; b – длина бокового фасада здания, м; R – расстояние от здания до расчетной точки, м; $a_{\text{пр}}$ – длина проема, м; $b_{\text{пр}}$ – ширина проема, м; $\alpha_{\text{зд}}$ – коэффициент звукопоглощения здания; α_i – коэффициент звукопоглощения i -той поверхности, площадью S_i , м²; $\alpha_{\text{з.о.}}$ – коэффициент звукопоглощения замкнутого объема.

3. Анализ влияния различных факторов на снижение шума

Теоретический анализ схем был выполнен при помощи расчетов по разработанным формулам. В ходе анализа было исследовано влияние различных факторов на снижение уровней шума за зданиями.

Анализ влияния звукопоглощения материала фасада на снижение уровней шума за зданием показывает, что при облицовке фасада поглощающими материалами дополнительное снижение может достигать величины от 1 до 5 дБА для наиболее распространенных строительных материалов и до 10 дБА при применении звукопоглощающего слоя минеральной ваты. При наличии покрытия двора травой, рыхлым грунтом или кустами дополнительное снижение уровней шума во дворе составляет 2-6 дБА (рис. 2).

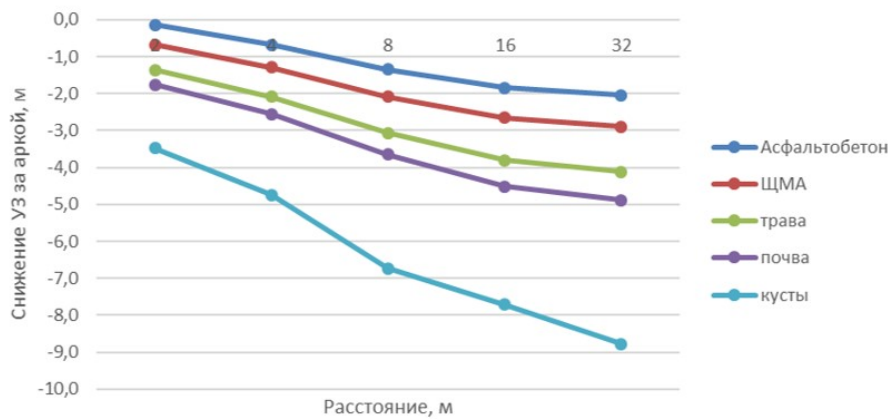


Рис. 2. Снижение уровней шума во дворе при разном покрытии территории

Анализ влияния параметров зданий показывает, что снижение уровней шума в П-образном или Ш-образном дворе практически постоянно на всей территории двора за счет квазидиффузного характера звукового поля, образованного в нем. Увеличение длины перпендикулярных дороге частей П-образного здания в два раза влечет снижение уровней звука на 2,5 дБА, увеличение длины перпендикулярного Г-образного здания свыше удвоенной длины параллельного здания не дает дополнительного вклада в снижение уровней шума. При увеличении размеров двора-колодца вдвое уровни шума снижаются на 3 дБА. Затухание за П-образным зданием выше, чем за протяженным в результате наличия экранирования источников шума боковыми частями здания. Затухание за Г-образным зданием меньше, чем за протяженным зданием, а также за П-образным зданием (рис. 3).

Анализ влияния высоты зданий показывает, что изменение высоты здания свыше 10 м не оказывает значительного влияния на уровни шума за зданием. Данный вывод подтверждает рекомендацию Директивы END о том, что при отсутствии информации о высотах здания допускается принимать их равными 8 м. Объекты высотой менее 2 м не оказывают значительного влияния на экранирование шума, поэтому их учитывать в расчете нецелесообразно.

Влияние проема или арки распространяется на небольшие расстояния, определяемые размером тени, т.е. треть квадрата их длины. На малых расстояниях от проема или арки, меньших половины их длины, отсутствует снижение уровней шума, что обусловлено переотражением шума между образующими проем зданиями. При увеличении размера бокового проема снижение уровней шума за ним уменьшается, начиная с длины в 20 м дополнительное снижение за проемом неизменно и составляет порядка 6 дБА.

Для проверки корректности разработанных математических моделей и предлагаемых расчетных формул проводились измерения уровней шума в жилой застройке. Анализ результатов расчетов и измерений показывает, что отклонение результатов расчета по разработанным расчетным формулам от результатов измерений составляет 1-3 дБА, что с учетом погрешности измерений до 1,5 дБА дает хорошую сходимость.

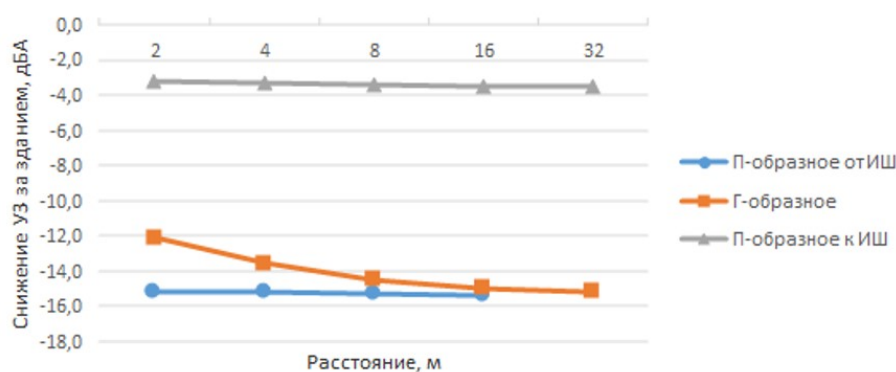


Рис. 3. Снижение уровней шума за различными зданиями

4. Рекомендации по размещению зданий в целях снижения шума

Анализ результатов измерений и расчетов позволяет выработать следующие рекомендации, позволяющие снизить шум в застройке:

- следует максимально использовать шумозащитные типы застройки (П-, Ш-образные здания, отвернутые от источника шума), что обеспечивает снижение УЗ на величину до 16-18 дБА;
- следует избегать наличия проемов в виде арки в зданиях, расположенных параллельно источнику шума, образующих замкнутые и полузамкнутые двory;
- для проезда на территорию двory рекомендуется использовать боковые проемы, т.е. в объезд первого фронта застройки;
- закрытые двory следует максимально озеленять, что обеспечивает снижение УЗ на величину до 2-6 дБА;
- фасады зданий следует выполнять из звукопоглощающих материалов либо с наличием значительного количества выступающих элементов (эркеров, балконов), что способствует снижению УЗ за зданием на величину до 4-10 дБА;
- застройка должна быть максимально плотной с минимальными разрывами между зданиями;
- увеличение высоты здания свыше 10 м не дает значительного вклада в снижение уровней шума за зданием;
- за точечными низкими зданиями (сельская застройка) снижение шума практически отсутствует, поэтому их нельзя рассматривать как экранирующие объекты, снижающие размер зоны санитарного разрыва и экранирующие дальние эшелоны застройки;
- снижение уровней шума элементами городской застройки ограничено и в большинстве случаев не превышает 25 дБА, следовательно, мероприятия по снижению шума элементами застройки следует комбинировать с мероприятиями по снижению шума в источнике и на пути его распространения.

Заключение

Шум транспорта является одним из основных факторов воздействия на население. При территориальном планировании муниципальных образований их территория зонировается с учетом зон акустического дискомфорта, создаваемых транспортными потоками. При проектировании жилой застройки рекомендуется использовать приемы шумозащитного размещения застройки, эффективность которых необходимо подтвердить акустическим расчетом.

Основной проблемой при оценке снижения звука в застройке является оценка распространения шума в жилой застройке при наличии дифракции, т.к. разница расчетного и измеренного уровней может достигать величины 10 дБА. Для оценки дифракции за зданиями сложной формы предлагается подход, основанный на разработке расчетных схем и математических моделей распространения шума. В основу математических моделей для расчетных формул положена теория оценки затухания шума в застройке, базирующаяся на статистической геометрической теории акустики, разработанной З. Маекавой и Н.И. Ивановым. Метод позволяет оценить снижение шума в результате его дифракции с высокой точностью.

При помощи расчетных формул был произведен анализ факторов, влияющих на распространение шума в застройке, который позволил оценить степень влияния на затухание шума геометрических параметров зданий и разрывов между ними, звукопоглощения территории и фасадов зданий, что позволило выработать рекомендации по такому размещению зданий, которое бы позволило снизить шум в жилой застройке.

Список литературы

1. Towards a Comprehensive Noise Strategy, Policy Department Economic and Scientific Policy. Environment, Public, Health and Food Safety. – 2012. – 82 с.
2. СП 31-107-2004 Архитектурно-планировочные решения многоквартирных жилых зданий
3. ГОСТ 31295.2-2005/ ISO 9613-2:1996. Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчета
4. Keunhwa Lee and Woojae Seong, “Time-domain Kirchhoff model for acoustic scattering from an impedance polygon facet”, JASA Express Letters, 6 2009.
5. Allan D. Pierce, “Acoustics: An Introduction to Its Physical Principles and Applications”, Acoustical Society of America, 1989.
6. Z. Maekawa, J. H. Rindel and P. Lord, Environmental and Architectural Acoustics. Second edition / Spon Press, 371 с., 2011.
7. Proposal for Nordtest method: Nord2000 - prediction of outdoor sound
8. ГОСТ Р 56234.3-2019/ISO/TR 17534-3:2015 Акустика. Программное обеспечение для расчетов уровней шума на местности. Часть 3. Рекомендации по обеспечению качества расчетов по ИСО 9613-2
9. Н.И. Иванов. Защита от шума и вибрации / Н. И. Иванов. – СПб: НИЦ АРТ, 2017. – 267 с.
10. Heinrich Kuttruff. Acoustics: An Introduction. Taylor & Franscis, 2007.

References

1. Towards a Comprehensive Noise Strategy, Policy Department Economic and Scientific Policy. Environment, Public, Health and Food Safety, 2012, 82 p.
2. SP 31-107-2004 Architectural and planning designs of apartment buildings
3. GOST 31295.2-2005/ISO 9613-2:1996. Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 2: General method of calculation
4. Keunhwa Lee and Woojae Seong, “Time-domain Kirchhoff model for acoustic scattering from an impedance polygon facet”, JASA Express Letters, 6 2009.

-
5. Allan D. Pierce, "Acoustics: An Introduction to Its Physical Principles and Applications", Acoustical Society of America, 1989.
 6. Z. Maekawa, J. H. Rindel and P. Lord, Environmental and Architectural Acoustics. Second edition / Spon Press, 2011, 371 p.
 7. Proposal for Nordtest method: Nord2000 - prediction of outdoor sound
 8. GOST P 56234.3-2019/ISO/TR 17534-3:2015 Acoustics. Software for the calculation of sound outdoor. Part 3. Recommendations for quality assured implementation of ISO 9613-2
 9. N.I. Ivanov. Zashchita ot shuma i vibratsii / N. I. Ivanov. – SPb: NITS ART, 2017. – 267 p.
 10. Heinrich Kuttruff. Acoustics: An Introduction. Taylor & Francis, 2007.