



**VII Всероссийская научно-практическая
конференция с международным участием
«ЗАЩИТА ОТ ПОВЫШЕННОГО
ШУМА И ВИБРАЦИИ»**



СБОРНИК ДОКЛАДОВ

**19 – 21 марта 2019 г.
Санкт-Петербург**

Научное издание

УДК 628.517(04)
ББК 30н:20.1:20.18
З-40

Защита от повышенного шума и вибрации: сборник докладов
З-40 Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, 19-21 марта 2019 г.,
СПб/ Под ред. Н.И. Иванова. – СПб., 2019. – 798 с.

В сборнике трудов приводятся последние исследования в области акустики, снижения шума и вибрации, виброакустических измерений, строительных и инженерных конструкций с учетом требований шумовиброзащиты, дорожного и железнодорожного строительства.

Для специалистов в области виброакустики.

УДК 628.517(04)

© БГТУ, 2019
© ООО "ИАК", 2019
© Авторы, 2019

**Президент и
председатель
научного
комитета:**

Иванов Н.И. д.т.н., профессор, Заслуженный деятель науки РФ, заведующий кафедрой «Экология и безопасность жизнедеятельности» Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова (г. Санкт-Петербург, РФ)

**Председатель
оргкомитета:**

Шашурин А.Е. д.т.н., декан факультета «Е» БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, доцент кафедры «Экология и БЖД» (г. Санкт-Петербург, РФ)

**Заместитель
председателя
оргкомитета:**

Рассошенко Ю.С. к.т.н., ст. научный сотрудник, ст. преподаватель кафедры «Экология и БЖД» БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова (г. Санкт-Петербург, РФ)

**Заместитель
председателя
научного
комитета:**

Шубин И.Л. д.т.н., профессор, директор Научно-исследовательского института строительной физики РААСН, лауреат Премии Правительства РФ в области науки и техники (г. Москва, РФ)

Оргкомитет конференции

Jana Dolejší

Главный редактор журнала AKUSTIKA (Чехия)

Дроздова Л.Ф.

Информационно-финансовый контроль,
БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова (г. Санкт-Петербург, РФ)

Светлов В.В.

Сборник трудов конференции (РИНЦ) и конкурс молодых специалистов, ООО «Институт акустических конструкций» (г. Санкт-Петербург, РФ)

Погодина М.В.

Реклама и PR, ООО «Институт акустических конструкций» (г. Санкт-Петербург, РФ)

Ксенофонтова В.К.

Секретарь Оргкомитета, БГТУ «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова (г. Санкт-Петербург, РФ)

Математическая модель снижения шума от пыльного диска, достигаемого применением вибродемпфирующих прокладок с сухим трением (ВДПСТ)	
Асминин В.Ф., Осмоловский Д.С., Дружинина Е.В.	444
Метод комплексного аэроакустического моделирования летательных аппаратов	
Бойчук И.П., Гринек А.В., Данцевич А.Ю., Новиков А.Ю.	452
К вопросу об оценке виброизолирующей эффективности комбинированной упруго-полужесткой муфты привода машины	
Бохан В.В., Граков С.А., Зубарев А.В.	456
Инженерный метод геометрической акустики для оценки дифракций высокого порядка в застройке	
Буторина М. В., Куклин Д. А., Шабарова А. В.	464
Использование <i>bin</i> для оценки шума в окружающей среде и на рабочих местах	
Буторина М.В., Дроздова Л.Ф, Куклин Д.А.	475
Построение карт шума офисных помещений с целью улучшения условий труда работников	
Буторина М. В., Куклин Д. А., Шабарова А. В.	485
Экологически безопасные звукопоглощающие композиционные материалы на основе льняных и полимерных волокон	
Бухаров С.Н., Кожушко В.В., Сычев А.П., Чукарин А.Н.	486
Эволюция методов и средств борьбы с шумом. Шумозащита вчера и сегодня	
Ломовцева С.Д.	493
Применение методов акустической интенсивности для исследования структуры звуковых полей транспортных потоков	
Евсеев В.В., Пирожков М.В., Скиба С.П.	497
Биомеханические основы повреждающего действия низкочастотных акустических колебаний	
Зинкин В.Н.	503
Оценка общего эффекта дорожного и железнодорожного шума и разработка мероприятий по его снижению	
Куклин Д. А., Дроздова Л. Ф., Шабарова А. В.	516
Модель собственной звукоизоляции звукоподавляющих облегченных структурированных панелей	
Мурзинов В.Л., Мурзинов П.В., Мурзинов Ю.В.	524
Оценка изменения уровня шума от наземного транспорта г. Москвы	
Лагутина Н.В., Новиков А.В., Сумарукова О.В.	533
Методы виброзащиты – прогнозирование и диагностика остаточного ресурса долговечности материала и конструкций	
Овчинников И.Н., Базиненков А.М.,	542
Вклад структурного шума при оценке шумовых характеристик автотранспортных магистралей	
Пименов И.К., Кузнецова А.Д., Марков С.Б., Дементьев Н.А.	551
Акустика процесса и механизм горения	
Пинчук В.А. , Пинчук А.В.	562

УДК 534.26
OECD 01.03.AA

Инженерный метод геометрической акустики для оценки дифракций высокого порядка в застройке

Буторина М. В.^{1*}, Куклин Д. А.², Шабарова А. В.³

¹Доцент, Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Россия

²Профессор, Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Россия

³Магистрант, Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

Расчет шума в окружающей среде является предметом исследований на протяжении многих лет. Современные стандарты шума основаны на простых алгоритмах метода «огигающей кривой звукового луча», который реализован в ISO 9613-2, наиболее распространенном стандарте, используемом в России и Европе. Метод «огигания» можно использовать без специальной программы. Однако он может генерировать нефизические эффекты в ожидаемых звуковых полях. Стандарт Nord2000 использует усовершенствованные процедуры дифракции на основе волн, но он ограничен двумя событиями дифракции и так же вызывает некоторую неопределенность в прогнозировании. Геометрические акустические методы проще в реализации и не требуют больших компьютерных ресурсов.

В этой статье предлагается метод расчета, основанный на стандартном методе «огигания», улучшенный за счет реализации механизма передачи энергии от источника шума к источникам второго и более высоких порядков. Также представлено сравнение результатов расчета с другими методами и результатами измерений, которые демонстрируют хорошую сходимость предложенного метода с реальными уровнями шума.

Ключевые слова: шум, геометрическая акустика, дифракция, застройка, метод огигания.

Engineering geometrical acoustic method for higher-order diffraction of sound in building

Butorina M. V.^{1*}, Kuklin D. A.², Shabarova A. V.³

¹ Assistant Professor, Baltic State Technical University «VOENMEH»,
Saint-Petersburg, Russia

² Professor, Baltic State Technical University «VOENMEH»,
Saint-Petersburg, Russia

³ Student, Baltic State Technical University «VOENMEH»,
Saint-Petersburg, Russia

Abstract

Calculation of environmental noise is the subject of researches for many years. Current noise standards rely on simple algorithms of “detour” method that is implemented in ISO 9613-2, the most spread standard used in Russia and Europe. Detour methods can be calculated without a special program. However, they can produce unphysical effects in predicted sound fields. The Nord2000 standard uses more refined wave-based diffraction procedures, but it is limited to two diffraction events and also cause some uncertainties in prediction. Geometrical acoustic techniques are easier to implement and do not require huge computer resources.

Here we demonstrate an improvement of a standard “detour” method due to implementation of an energy transmission mechanism from the noise source to a secondary and higher order sources. We also present comparison of results with other calculation methods and results of measurements that demonstrate a good

* Автор корреспонденции: bmv@ivas.su (Буторина М.В.)

agreement of the proposed method to the reality.

Key words: noise, geometrical acoustic, diffraction, building, detour method.

Введение (обзор существующих методов)

На сегодняшний день воздействие шума является одной из наиболее серьезных проблем, поскольку шум влияет на здоровье человека. Результаты картирования шума в Европе, проведенного в соответствии с «Директивой о шуме в окружающей среде» [1], показывают, что 33% населения Европы страдают от повышенного уровня шума. Около 56 миллионов человек подвержены влиянию автомобильного шума, 9 миллионов страдают от железнодорожного шума и около 1 миллиона человек подвержены промышленному шуму. Аналогичные показатели были получены для России, где треть населения подвергается воздействию уровней шума, превышающих нормативные [2].

С 2002 года «Директива о шуме в окружающей среде» призывает к мониторингу шума и созданию планов действий в Европе. Мониторинг шумовой ситуации осуществляется с использованием шумового картирования. Шумовые карты также служат основой для разработки планов действий по снижению шума.

Для создания шумовых карт в настоящее время применяются очень упрощенные модели распространения звука, такие как [3,4]. В России используется еще более упрощенный метод, предоставленный [5] и основанный на ISO 9631-2.

Методы расчета реализованы в различных программных продуктах, таких как SoundPLAN, CadnaA и Predictor в Европе или «Эколог-Шум», ExNoise и «АРМ Акустика» в России. Однако применяемые методы оценки должны быть улучшены, чтобы избежать неопределенности в анализе акустической ситуации. Опыт оценки шума показывает, что более точные методы моделирования могут снизить затраты на шумозащиту уже на этапе планирования.

Модели распространения звука можно разделить на волновые теоретические подходы и методы геометрической акустики. Первая группа рассматривает звук как волны; вторая группа предполагает, что звук распространяется как частицы энергии. Из-за своей сложности методы теоретического волнового моделирования могут применяться только для низких частот и небольших объемов. Геометрические акустические методы предусматривают распространение звука по прямым лучам от источников шума до расчетных точек. Методы геометрической акустики применимы для больших объемов и даже для целых городов [6].

Геометрические методы акустики рассматривают только зеркальные отражения, поэтому волновые эффекты, такие как рассеяние звука на неровных поверхностях или дифракция вокруг углов, не могут быть смоделированы с их помощью. Распространение шума изучено достаточно хорошо. Однако разработка общей дифракционной модели все еще вызывает значительные затруднения, так, не решена проблема дифракций более высокого порядка и их комбинаций с отражениями. При этом в застройке пути распространения звука, вызванные дифракцией более высоких порядков, являются доминирующими. Другая проблема заключается в определении наиболее подходящих путей распространения звука. Потому что не очевидно, какой именно путь распространения звука вносит больший вклад в звуковое поле. Эта проблема связана с упрощенным подходом, применяемым в методах моделирования геометрической акустики.

В данной работе описана дифракция за зданиями, которые достаточно высоки по сравнению с высотой источника шума и расчетной точки. Поскольку для очень маленьких объектов (по сравнению с исследуемой длиной волны), звуковое поле почти не зависит от наличия препятствия, то есть звуковая волна огибается вокруг препятствий так, что зона тени за препятствиями почти исчезает, они в расчет не принимаются [7].

В настоящее время существуют многочисленные теории дифракции. Первую группу составляют волновые теоретические методы. В эту входят все теории дифракции, которые полностью соответствуют волновой теории без каких-либо аппроксимаций. Вторая группа аппроксимирует волновое поле с учетом допущений Кирхгофа [8]. Большинство подходов этой группы не принимают во внимание реальную форму ребра. Существуют и другие подходы, использующие допущения Кирхгофа для расчета звука, отраженного от шероховатой поверхности [9]. Третья группа аппроксимирует теорию дифракции еще больше, и учитывает только огибающие пути распространения звука вокруг препятствия [10].

Качественное объяснение теории дифракции представлено принципом Гюйгенса. Основная его идея в том, что любая волна может быть создана путем наложения бесконечного числа вторичных источников. Эти вторичные источники должны быть расположены на фронте волны и излучать звук в сферу. Суперпозиция волновых фронтов этих вторичных источников создаст такую же форму волны, что и исходная волна. Для плоской волны боковые компоненты этих вторичных источников компенсируют друг друга, тогда как распространяющаяся часть исходной волны состоит из этих вторичных источников. При введении препятствия, ортогонального плоской волне, оно экранирует нижние вторичные источники, таким образом, что только оставшиеся верхние вторичные источники формируют фронт волны за экраном. Энергия от верхних вторичных источников распространяется в теневую зону, в то время как эффект экранирования вторичных нижних источников вызывает уменьшение энергии в неэкранированной зоне [8].

Волновые дифракционные модели, в основном описаны, в частотной области, поскольку все волновые явления зависят от частоты. Самое распространенное решение во временной области дает теория Биот-Толстого-Медвина. Основная идея метода заключается в том, что уровень звукового давления представляет собой сумму прямого звука, зеркальных отражений и звукового поля, дифрагированного вокруг бесконечного ребра. Потенциал смещения определяется для геометрии ребра с учетом угла дифракции. Этот потенциал смещения задается суперпозицией мод в цилиндрических координатах, таким образом, что выполняются граничные условия как жестких поверхностей ребра, так и положения источника. Медвин расширил решение Биот-Толстого для конечных ребер, предполагая, что звуковое давление снижается наполовину при достижении меньшего пути огибания. Кроме того, звуковое давление приравнивается к нулю для расстояний, превышающих максимальную величину пути огибания [11].

Вторая группа дифракционных моделей аппроксимирует теоретические отклонения волн, применяя допущения Кирхгофа. Эти модели учитывают, как прямой звук, так и дифрагированное звуковое поле. Из-за принятых допущений эти модели не могут использоваться для высоких частот. Кроме того, классическое допущение Кирхгофа справедливо только для малых углов дифракции. Чтобы применить допущения Кирхгофа, необходимо использовать упрощения экранирующей поверхности. Эта поверхность определяется как бесконечная стена, которая разбита на сплошные участки и отверстия. Типичное допущение Кирхгофа состоит в том, что звуковое давление на задней стороне сплошной стенки равно нулю, а звуковое поле, распространяющееся через отверстия, не изменяется. В обоих допущениях предполагается, что отверстие является достаточно большим по отношению к длине волны, так что эффекты дифракции действуют только внутри объема, то есть на задней стороне отверстия. Когда рассматриваются малые углы дифракции, для дальнего поля используется также интеграл Френеля-Кирхгофа [10].

Стивенсон и его коллеги развили идею дифракции, основанной на неопределенности, при которой частицы отклоняются через «виртуальные стены», которые простираются от дифракционных краев. Этот метод известен как дифракция звуковых частиц [12]. Он может быть представлен следующим образом: пушка выпускает точечные частицы в различных направлениях, заданных направленностью источника.

Затем частица перемещается в окружающей среде в соответствии с геометрическими законами. При встрече со стеной частица может отражаться (зеркально или диффузно) или проходить через нее. Угол дифракции определяется расчетом пути огибания дифракционных кромок, который потом используется для получения эффективной ширины отверстия «b», которое потом подставляется в простую формулу, полученную из теории дифракции Фраунгофера [13,14]:

$$\theta = \frac{\tan(2\sqrt{2bR})}{2\sqrt{2bR}}, \quad (1)$$

где «R» - это равномерное случайное отклонение, для определения соответствующего угла прохождения частицы.

К сожалению, оценка дифракции на основании метода неопределенности вызывает рекурсивное разделение части, а, следовательно, экспоненциальный рост времени вычислений. В [15, 16] представлена реализация метода звуковых частиц (SPD) в сочетании с дифракцией, основанной на неопределенности. Это дает более точные результаты и может быть внедрено в программное обеспечение.

Метод SPD доказал свою полезность в ситуациях с точечным источником и небольшими препятствиями. В качестве примера в работе [17] была рассмотрена сложная ситуация, которая создает проблемы для методов огибания. Рассмотрены два идеально отражающих параллелепипеда, смещенных горизонтально относительно друг друга (Рис. 1а). Параллелепипеды достаточно длинные и высокие, так что дифракция звука на дальних ребрах не вносит значимого вклада в звуковое поле. Кроме того, отражение звука идет только от самих параллелепипедов. Результаты расчета при помощи двух методов представлены на рис. 1: результаты расчета по методу SPD – на рисунке (а), результаты расчета с использованием ISO – на рисунке (б).

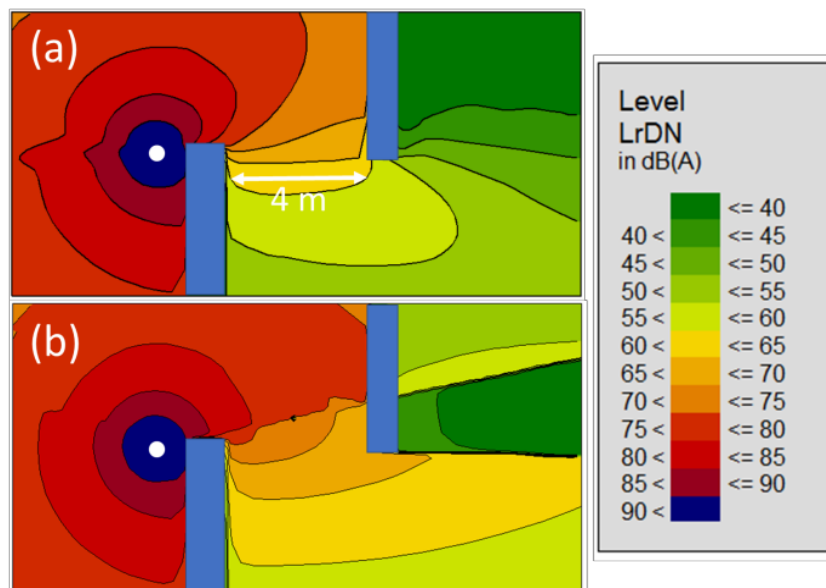


Рис. 1. Карта шума, показывающая расчет дифракции через проем между двумя смещенными блоками: (а) – по методу SPD, (б) – по ISO 9613-2. Источник шума обозначен белой точкой, мощность звука 100 дБ на 500 Гц

Метод стандарта ISO оценивает путь распространения звука от источника до расчетной точки, которые проходят 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, как показано на рис. 1. В результате мы видим темно-зеленую область на рис. 1 (б), куда поступает некоторое количество звуковой энергии. Поле ограничено резкими разрывами,

отмечающими точки перехода между расчетными величинами дифракции. Метод SPD обеспечивает более плавное звуковое поле, потому что частицы могут распространяться зигзагообразно и проходить более короткий путь через проем. Изгибы изолинии, которые наблюдаются в правом верхнем углу рис. 1(а), обусловлены статистической неопределенностью, поскольку в эти области попадает относительно мало частиц. Увеличение времени расчета позволяет сгладить изолинии [17].

Метод Nord2000 можно использовать для расчета распространения звука от линейного источника. Линейный источник делится на несколько 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 (Рис. 2). 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 подхода зоны Френеля. Метод может использоваться только для дифракции второго порядка (на двух ребрах) и углов дифракции больших, чем π [4].

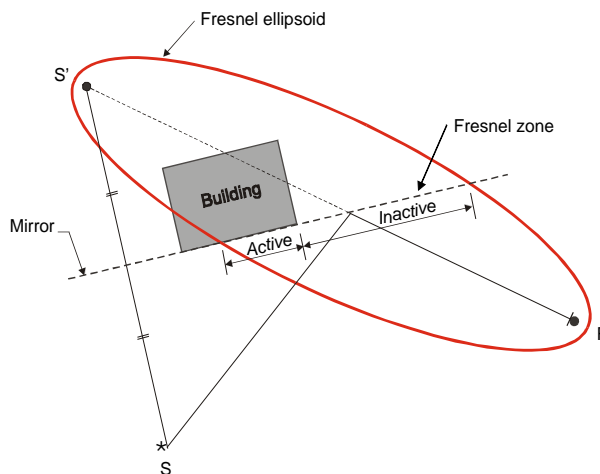


Рис. 2. Геометрическая модель для метода Nord2000

Самое грубое приближение волновой теории заключается в том, чтобы учитывать только самый короткий путь, по которому звук проходит от источника шума к приемнику, огибая препятствие. Эти модели чаще всего используются для оценки эффективности тонких акустических экранов. Наиболее распространенной моделью является метод Маекавы [10]. Он был основан на эмпирических измерениях, но позже математически доказан Курце [18]. Результатом экспериментов Маекавы является график с нелинейными осями, но обычно используется простое математическое выражение:

$$\Delta L = 10 \log 10(20N), \quad (2)$$

где $N = \frac{2d}{\lambda}$, d – путь, по которому проходит звук, огибая препятствие, и λ длина волны.

Метод Маекавы может быть расширен для случая толстого экрана. При этом к результату расчета добавляется эффект толщины барьера, описываемый экспериментальной диаграммой, как показано на рис. 3.

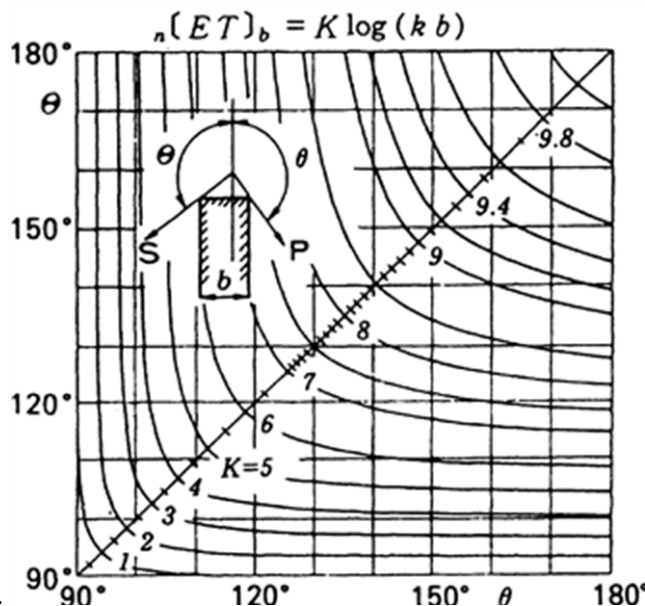


Рис. 3. Диаграмма для оценки эффекта толщины барьера по методу Маекавы [19]

Методы геометрической акустики доминируют на рынке программного обеспечения, предназначенного для контроля шума, поскольку они обеспечивают баланс между приемлемой точностью и требованиями к вычислительным ресурсам. Метод огибания Маекавы положен в основу ISO 9631-2. В этом стандарте значение или затухание звука при наличии более одного ребра ограничиваются вручную величиной в 25 дБ. Диаграмма, представленная на рис. 3, все еще используется в России для описания дифракции на двух ребрах в случае стандартного здания, расположенного вдоль источника шума [5].

Таким образом, методы оценки дифракции должны быть существенно улучшены в расчетных методиках, поскольку они могут значительно переоценивать уровни звука в зоне глубокой тени, и, кроме того, они могут недооценивать уровни в неглубокой тени. При их применении могут возникать нефизические эффекты, которых не бывает в реальности. Отклонения от более точных методов могут превышать 10 дБ [17, 20].

Как видно из анализа существующих расчетных методов, используемых для оценки дифракции, они не могут быть применены непосредственно для случая линейного источника, такого как транспортный поток, а также для нескольких ребер дифракции. В этой работе метод огибания Маекавы используется в качестве основы для дальнейшего усовершенствования и создания инженерного метода геометрической акустики, предназначенного для оценки дифракции в застройке, когда источником шума выступает линейный источник. Для уточнения метода огибания используются новейшие разработки и соображения, представленные в [19, 21].

1. Метод оценки дифракции в застройке

В основу теории положена статистическая геометрическая теория акустики, разработанная З. Маекавой и Н.И. Ивановым. В разработанной теории здания рассматриваются как вторичные излучатели шума, которые преобразуют звуковое поле источника шума на пути его распространения до расчетной точки. В ходе преобразования учитываются следующие основные параметры:

1. Параметры звукового поля источника шума;
2. Наличие поглощающих поверхностей на пути распространения шума;
3. Геометрические размеры зданий и свойства звукопоглощения их фасадов;

4. Различные варианты расположения зданий в пространстве по отношению друг к другу и к источнику шума;

5. Отражение шума от элементов рассматриваемых зданий.

Расчеты выполняются в соответствии с правилом согласно которому (Рис. 4):

$$W_{ист} \rightarrow I_1 \rightarrow W_1 \rightarrow I_2 \rightarrow W_2 \rightarrow \dots \rightarrow I_n \rightarrow W_n \rightarrow I_{PT}, \quad (3)$$

где $W_{ист}$ – акустическая мощность источника;

I_1 – интенсивность звука на первой поверхности с первым импедансом;

W_1 – акустическая мощность звука, излучаемого этой поверхностью;

I_2 и W_2 – то же для второй поверхности с новым импедансом;

I_n и W_n – то же для n -й поверхности;

I_{PT} – интенсивность звука в расчетной точке (PT).

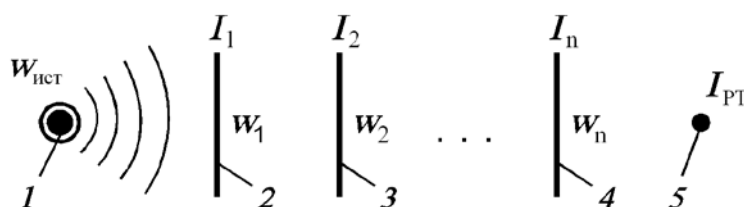


Рис. 4. Иллюстрация к правилу расчетов: 1 – источник звука; 2, 3, 4,..., n – переходные поверхности; 5 – расчетная точка

Исходной величиной для расчетов является акустическая мощность источника ($W_{ист}$), конечной величиной является интенсивность звука в расчетной точке (I_{PT}).

При помощи вышеуказанного подхода было произведено математическое моделирование для основных случаев распространения звука в жилой застройке.

Наиболее распространенный случай – дифракция за протяженным зданием, которое представлено ниже. Схема расчета для оценки дифракции звука за зданием представлена на рис. 5.

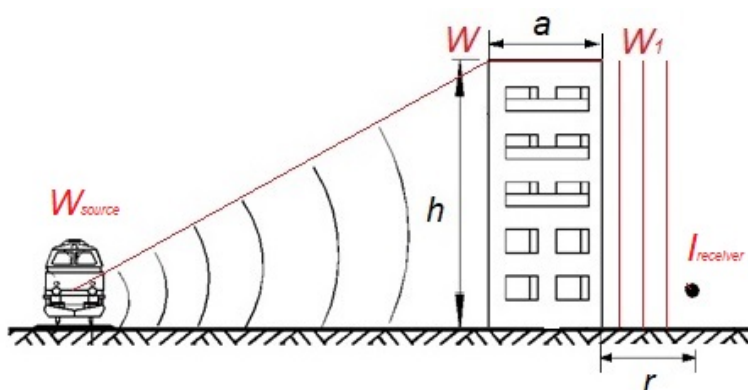


Рис. 5. Схема (не в масштабе) для расчета дифракции звука за зданием

Энергия, излучаемая источником шума, таким как транспортный поток, распределяется вдоль фасада здания, обращенного к источнику шума. Уровень шума на здании, распространяемый от источника шума, оценивается с использованием положений ISO 9613-2. Некоторая часть звуковой энергии поглощается поверхностью фасада здания благодаря его коэффициенту звукопоглощения.

В данном случае вторичным излучателем выступает линейный излучатель конечной длины, равной длине здания l (м), с шириной, которую примем условно равной 1 м. Акустическая мощность излучателя определится как:

$$W = I_{\text{экв}} \times (1 - \alpha_{\text{зд}}) \times l \times 1, \text{ Вт} \quad (4)$$

где $I_{\text{экв}}$ – интенсивность звука транспортного потока, Вт/м²;

$\alpha_{\text{зд}}$ – коэффициент звукопоглощения фасада здания;

l – длина здания, м.

Полагая, что звук в верхней части здания излучается линейным источником длиной l на расстояние, равное ширине здания a , для которого выполняется условие $a \leq l/\pi$, тогда интенсивность звука на стороне здания, противоположной источникам звука, определится как:

$$I_1 = \frac{W_1}{2\pi a} \arctg \frac{l}{2a}, \text{ Вт/м}^2 \quad (5)$$

Акустическая мощность плоского излучателя, расположенного со стороны расчетной точки, с длиной l и высотой h составит:

$$W_1 = I_1 \times l \times h, \text{ Вт} \quad (6)$$

Интенсивность звука в расчетной точке, расположенной на расстоянии R от здания, которое не превышает $R \leq 0,4\sqrt{S}$ определится по формуле:

$$I_{PT} = \frac{W_1}{\pi h} \arctg \frac{lh}{2R\sqrt{4R^2 + l^2 + h^2}}, \text{ Вт/м}^2 \quad (7)$$

Подставив значения (4), (5), (6) в (7), и сделав необходимые сокращения и преобразования, получим:

$$I_{PT} = \frac{I_{\text{экв}}(1 - \alpha_{\text{зд}})}{2\pi^2 a} \arctg \frac{l}{2a} \arctg \frac{lh}{2R\sqrt{4R^2 + l^2 + h^2}}, \text{ Вт/м}^2 \quad (8)$$

Разделим обе части на стандартный звуковой порог и прологарифмируем полученное выражение, в результате чего получим окончательный уровень звука для расчетной схемы на рис. 5:

$$L_{PT} = L_{\text{экв}} + 10\lg(1 - \alpha_{\text{зд}}) - 10\lg a + 10\lg \arctg \frac{lh}{2R\sqrt{4R^2 + l^2 + h^2}} - 13, \text{ дБА} \quad (9)$$

Предложенный подход может быть распространен на случаи множественной дифракции с использованием правила, представленного на рис. 4. Кроме того, этот метод в сочетании с оценкой отражения может использоваться для оценки снижения шума за проемом между зданиями и для различных нестандартных ситуаций дифракции.

2. Результаты и дискуссия: сравнение с другими методами и результатами измерений

Чтобы оценить результаты, полученные с помощью предложенного метода, были измерены уровни шума для ситуации, представленной на рис. 6. Вдоль дороги расположено здание длиной 200 м и шириной 12 м. Уровни шума измерялись перед зданием и за ним.

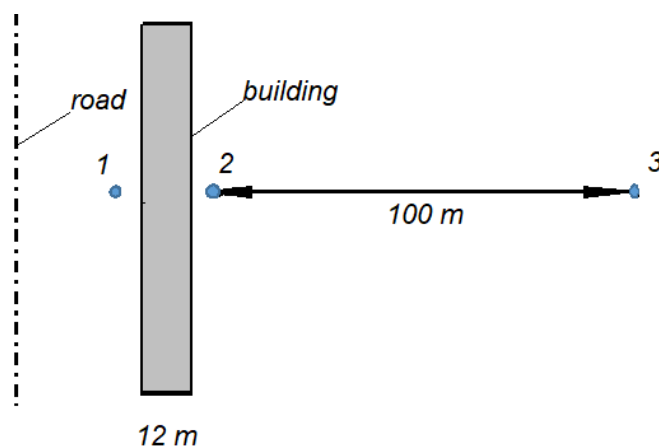


Рис. 6. - Схема (не в масштабе) для измерения уровней шума: расчетные точки 1-3 расположены перед зданием, прямо за зданием и на расстоянии 100 м за зданием

Результаты измерений снижения уровней шума в сравнении с расчетными уровнями представлены на рис. 7.

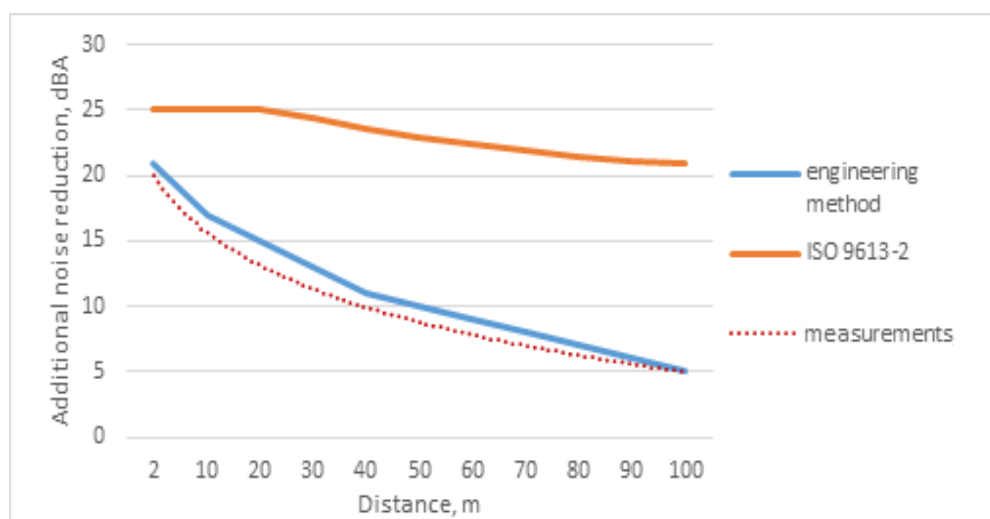


Рис. 7. Сравнение результатов, полученных с помощью предлагаемого способа, с использованием ISO 9613-2 и результатов измерений

Анализ результатов сравнения показывает, что предлагаемый метод дает лучшие результаты, чем стандартная процедура, применяемая в ISO 9613-2. Как было отмечено выше, метод ISO 9613-2 может недооценивать уровни в зоне тени и переоценивать дополнительное снижение шума за препятствием. Существует также нефизическое «выравнивание» в начале расчетной кривой (Рис. 7).

Уточненные процедуры, такие как предлагаемый инженерный метод, позволяют избежать нефизических эффектов и переоценки уровней шума в зоне звуковой тени, а также дают точную оценку снижения шума в результате его дифракции за зданием.

Заключение

1. Показано, что существующие методы, используемые для оценки дифракции, не могут применяться непосредственно для случая линейного источника, такого как транспортный поток, и для случаев наличия нескольких ребер дифракции.

2. Для оценки дифракции в застройке был разработан инженерный метод геометрической акустики, основанный на уточненном методе, оценивающем путь огибания звуком препятствия, предложенном Маекавой.

3. Показано, что предложенная процедура оценки дифракции может представлять собой значительное улучшение по сравнению с существующими стандартными методами, позволяющими справляться со случаями, которые могут быть представлять определенную трудность при оценке другими методами.

4. Результаты расчета по разработанному методу показывают хорошую сходимость с результатами измерений.

Список литературы

1. DIRECTIVE 2002/49/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise, 2002.
2. Ivanov, N.I., Tyurina, N.V., Shashurin, A.E. "Investigation of acoustical barriers for transport noise control", Proceedings of 22nd International Congress on Sound and Vibration, ICSV 2015.
3. Attenuation of sound during propagation outdoors - part 2: general method of calculation. (ISO 9613-2:1996). Vienna, Austria: Austrian Standards Institute; 2008; Edition: 2008-07-01.
4. Proposal for Nordtest method: Nord2000 - prediction of outdoor sound propagation. Hørsholm, Denmark: Delta; 2014; AV 1106/07.
5. СП 276.1325800.2016 Здания и территории. Правила проектирования защиты от шума транспортных потоков, Москва, 2016. – С. 13-18.
6. Pohl, A., "Simulation of diffraction based on the uncertainty relation", Ph.D. thesis, HafenCity University, Hamburg, 2014.
7. Heinrich Kuttruff. Acoustics: An Introduction. Taylor & Francis, 2007.
8. Keunhwa Lee and Woojae Seong, "Time-domain Kirchhoff model for acoustic scattering from an impedance polygon facet", JASA Express Letters, 6 2009.
9. Allan D. Pierce, "Acoustics: An Introduction to Its Physical Principles and Applications", Acoustical Society of America, 1989.
10. Maekawa, Z., "Noise reduction by screens" Applied Acoustics, 1968. vol. 1, P. 157-173.
11. Herman Medwin, "Shadowing by finite noise barriers", The Journal of the Acoustical Society of America, 69, 1981. – P. 1060–1064.
12. Stephenson, U. M. "An energetic approach for the simulation of diffraction within ray tracing based on the uncertainty relation", Acta Acustica united with Acustica, 96, 2010 – 2010. – P. 516–535,
13. Weigand S, Pohl A, Stephenson U. "Sound particle diffraction: influence of angle and slit width discretisation as well as choice of diffraction coordinate system", Proceedings of DAGA 2015; 16-19 March 2015, Nuremberg, Germany; 2015 – P. 963-966.
14. Alexander Pohl and Uwe M. Stephenson. "Efficient simulation of sound propagation including multiple diffractions in urban geometries by convex sub-division". Proceedings of Internoise, Lisbon, Portugal, 2010.
15. Schaal, J., Judd, T., "A 3D sound particle model with uncertainty-based diffraction for general geometries", 24th International Congress on Sound and Vibration, ICSV 2017.
16. Judd, T. E., Zollitsch, D., Weigand, S., Stephenson, U. M. and Schaal, J., "Uncertainty-based diffraction using sound particle methods in noise control software", Proceedings of Inter-Noise 2016, Hamburg, 2016. – P. 1050–1058,
17. J. Schaal, T. Judd., "Dealing with Anomalous Diffraction Behaviour in Noise Standards Using Sound Particle Diffraction". Proc DAGA 2017.

18. Ulrich J. Kurze, “Noise reduction by barriers”, The Journal of the Acoustical Society of America, 55(3), 1974. – P.504–518,
19. Z. Maekawa, J. H. Rindel and P. Lord, Environmental and Architectural Acoustics. Second edition / Spon Press, 2011. – 371 p.
20. Schuster R, Ehrenfried K, Henning A, Wagner C. “Validation of a geometric diffraction model with respect to level-time history prediction”, Proc DAGA 2016; 14-17 March 2016; Aachen, Germany 2016.
21. Butorina, M., Minina, N., “Noise control measures applied at the construction of new road infrastructure in Sochi”, Proceedings of 16th International Congress on Sound and Vibration 2009, ICSV 2009.

УДК 534.231
OECD 01.03.AA

Использование *bim* для оценки шума в окружающей среде и на рабочих местах

М.В. Буторина^{1*}, Л.Ф. Дроздова², Д.А. Ку克林³

¹Доцент, Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Россия

²Профессор, Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Россия

³Профессор, Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Россия.

Аннотация

Карты шума - наилучший способ представления информации об акустическом загрязнении. Для разработки мероприятий шумозащиты авторы используют современный программный пакет SoundPLAN, основанный на современной нормативной документации и результатах научных исследований. Программа позволяет импортировать результаты вычислений в любые программы, что позволяет внедрить информацию об уровнях шума в информационную модель сооружений (BIM). При разработке информационной модели выполняется обмен данными между SoundPLAN и программами серии Autodesk. В статье представлен инновационный подход к снижению шума при помощи внедрения данных о шуме в общую информационную модель линейного объекта или промышленного здания. BIM помогает отслеживать "коллизии" между сверхнормативным уровнем шума и защищаемыми объектами, закладывает основу для эффективного размещения рабочих мест и разработки мероприятий шумозащиты.

Ключевые слова: шум, карты шума, BIM, информационная модель сооружений, компьютерное моделирование.

Using bim to assess environmental and workplace noise

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

¹ Assistant Professor, Baltic State Technical University «VOENMEH»,
Saint-Petersburg, Russia

² Professor, Baltic State Technical University «VOENMEH»,
Saint-Petersburg, Russia

³ Professor, Baltic State Technical University «VOENMEH»,
Saint-Petersburg, Russia

Abstract

Noise maps are the best way to present information about acoustic pollution. To develop noise protection measures, the authors use the modern software SoundPLAN, based on modern regulatory documentation and the results of scientific research. The program allows you to import the results of calculations into any program, which allows you to embed information about noise levels in the Building Information Model (BIM). During the development of the information model, data is exchanged between SoundPLAN and Autodesk series programs. The article presents an innovative approach to noise reduction through the introduction of noise data into the general information model of a linear object or an industrial building. BIM helps to track "collisions" between the excessive noise level and the protected objects, lays the foundation for the effective placement of jobs and the development of noise protection measures.

Key words: noise, noise maps, BIM, Building Information Model, computer simulation.

*Автор корреспонденции: bmv@ivas.su (Буторина М. В.)

Введение

Шум является основным источником загрязнения в городах. Результаты картирования шума в Европе показывают, что 33% населения Европы страдают от повышенной акустической нагрузки. Около 56 миллионов человек находится под влиянием повышенного уровня шума автодорог, 9 миллионов страдают от шума железных дорог и около 1 миллиона человек подвержены промышленному шуму. Промышленный шум является причиной профессиональных заболеваний, которые влияют на работников на рабочем месте в процессе производства. Около 7% работников страдают от проблем со слухом, связанных с выполняемой ими работой [1].

Поэтому при проектировании инфраструктурных проектов, таких как автомобильные или железные дороги, а также при проектировании промышленных зданий, необходимо в первую очередь оценивать шум и снижать его до установленных нормами пределов.

Оценка влияния шума выполняется с использованием современных методов расчета. На основании результатов расчета разрабатываются мероприятия по защите от шума. Наиболее эффективным способом разработки мер защиты от шума является использование специализированного программного обеспечения [2]. При оценке воздействия шума на окружающую среду и разработке карт шума специалисты используют современные программные комплексы, основанные на современных методах, установленных в соответствии с [3] в Европе и в соответствии с [4] в России. Все эти методы реализованы в программе расчета шума SoundPLAN, которую мы используем в процессе проектирования.

Повышение эффективности проектирования шума осуществляется за счет внедрения технологии построения информационной модели зданий (BIM). BIM создает, обрабатывает и использует цифровую информацию об объекте, которая может быть автоматически согласована, проанализирована и отрегулирована внутри самой модели. BIM содержит геометрические и пространственные данные, географическую информацию, количество и характеристики строительных элементов, сметы расходов, ресурсы и т.д. Совместная работа команды проекта над BIM позволяет выявить потенциальные проблемы до того, как они возникнут в процессе строительства [5]. В процессе внедрения данных шума в BIM мы используем обмен данными между геоинформационной системой (ГИС), программами SoundPLAN, AutoCAD 3D или Revit и Autodesk Navisworks.

1. Алгоритм разработки информационной модели с учетом шумового загрязнения

Алгоритм ввода данных о шумовом загрязнении в BIM выполняется состоит из следующих шагов:

1. *Импорт макетов и информации о высотах и линиях высот из геоинформационных систем или Civil 3D в SoundPLAN.*
2. *Создание цифровой модели в программном обеспечении SoundPlan (Рис. 1).* Используя информацию о высотах, SoundPLAN рассчитывает цифровую модель местности.
3. *Ввод параметров источников шума и зданий в SoundPLAN.*

Для линейного объекта инфраструктуры, такого как дорога или железная дорога, необходимая информация включает данные об интенсивности, скорости и составе движения, типе дорожного покрытия или рельсов, мостах, путепроводах, уклонах и других параметрах, учитываемых в соответствии с методом расчета. Для защищаемых зданий необходимо указать их форму, высоту, назначение и адрес (при необходимости).

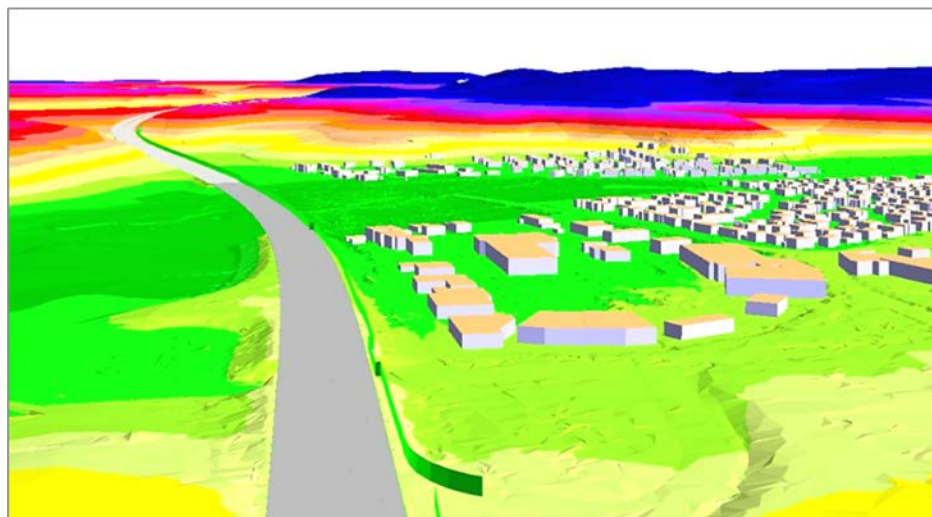


Рис. 1. 3D визуализация рельефа и зданий в SoundPLAN

Тот же подход используется для внедрения информации о шуме в ВМ любого производственного предприятия. Для промышленного здания также следует указать планировку помещений на каждом этаже здания, размещение источников шума и уровней их звуковой мощности, толщину и материал или звукоизоляцию ограждений, размещение рабочих мест, звукопоглощающие поверхности и т.д. Эти данные используются для расчета шумовых карт внутри здания. На рис. 2 представлена модель промышленного здания с расчетными уровнями шума.

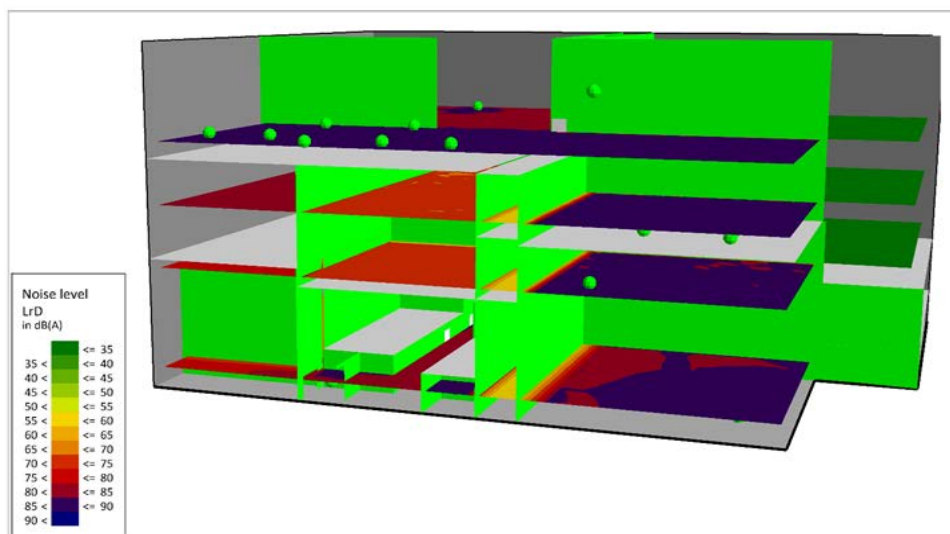


Рис. 2. 3D модель промышленного здания с картой шума

4. Расчет уровней шума и построение карт шума

Для внедрения результатов расчета уровней шума в ВМ необходимо разработать карту шума. Для расчета распространения шума вся площадь делится по сетке с определенным шагом, т.е. 5 м, 10 м, но не более 30 м. Точки с одинаковыми уровнями звука соединяются изолиниями, в результате чего получаются линии равных уровней звука. Наиболее удобный шаг для представления уровней звука - 5 дБА, что соответствует санитарным нормам шума.

На рис. 3 представлена карта шума для территории вблизи железной дороги. Здания различного назначения выделены разными цветами.

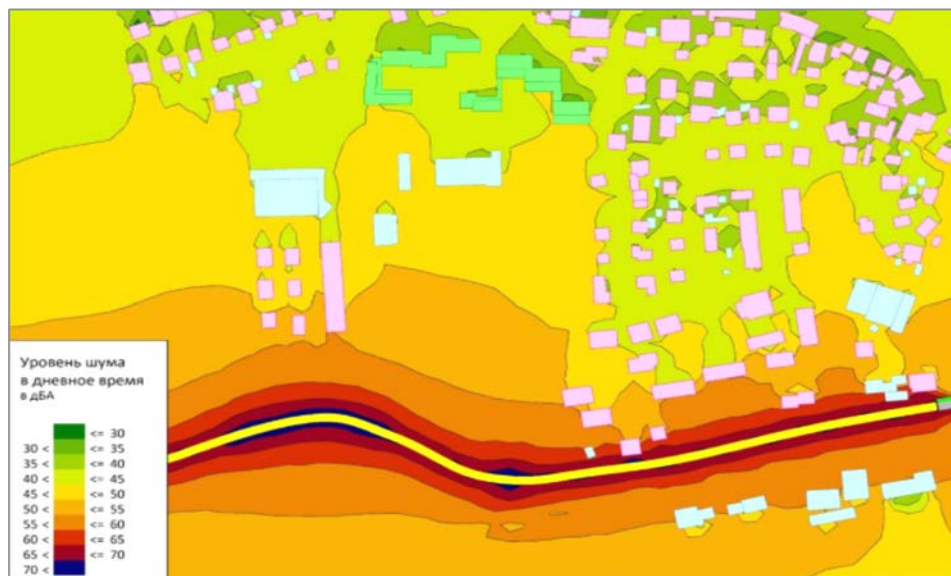


Рис. 3. Карта шума территории вблизи железной дороги

5. Экспорт изолиний с равными уровнями шума из *SoundPLAN* в *Civil 3D*. Для обеспечения обмена данными между различными программами используется общий формат данных *dxfl*.

6. Создание поверхностей одинакового уровня шума в *Civil 3D* на разных высотах. Поверхности с одинаковым уровнем шума на каждом этаже представлены на рис. 4.

7. Создание 3D моделей зданий с использованием *Civil 3D*, *Revit* и *Navisworks*. Отличием *Civil 3D* является то, что эта программа позволяет создавать разные слои с окнами различного назначения.

8. Экспорт поверхностей с одинаковым уровнем шума и моделей зданий из *Civil 3D* в *Navisworks* (Рис. 4). Экпортируемые поверхности уровней шума и модели зданий с различными помещениями (или окнами) используются для отслеживания «коллизий», то есть пересечения поверхности с уровнем шума 55 дБА (нормативный уровень шума) с жилыми помещениями. Поскольку поверхность с уровнем шума 55 дБА пересекает ряд жилых помещений, необходимо разработать мероприятия по защите от шума.

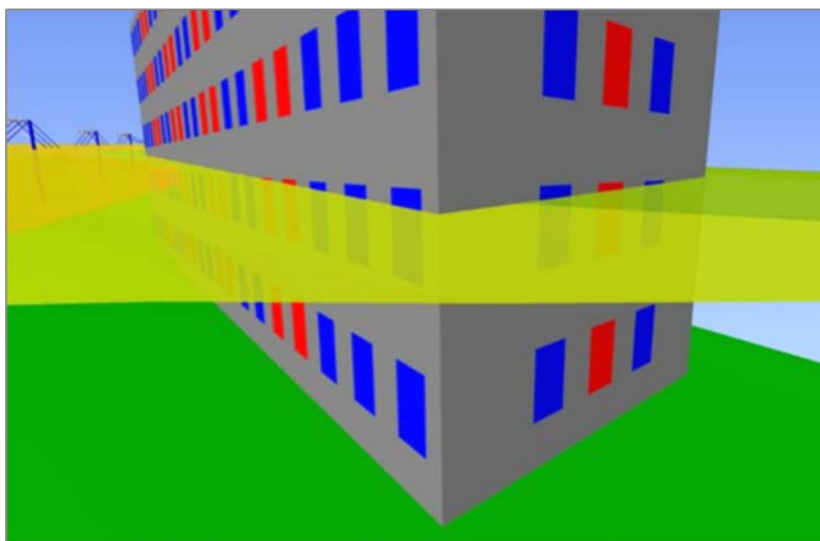


Рис. 4. Импортированная поверхность с нормативным уровнем шума и модель здания [6]

2. Анализ результатов разработки информационной модели и мероприятия шумозащиты

2.1. Анализ BIM для линейного объекта

Наиболее часто используемые мероприятия по снижению дорожного шума - это установка шумозащитных экранов и использование шумозащитного остекления. Для случая, представленного на рис. 4, было предложено использование экрана. Уровни шума после установки экрана были рассчитаны с использованием SoundPLAN (Рис. 5).

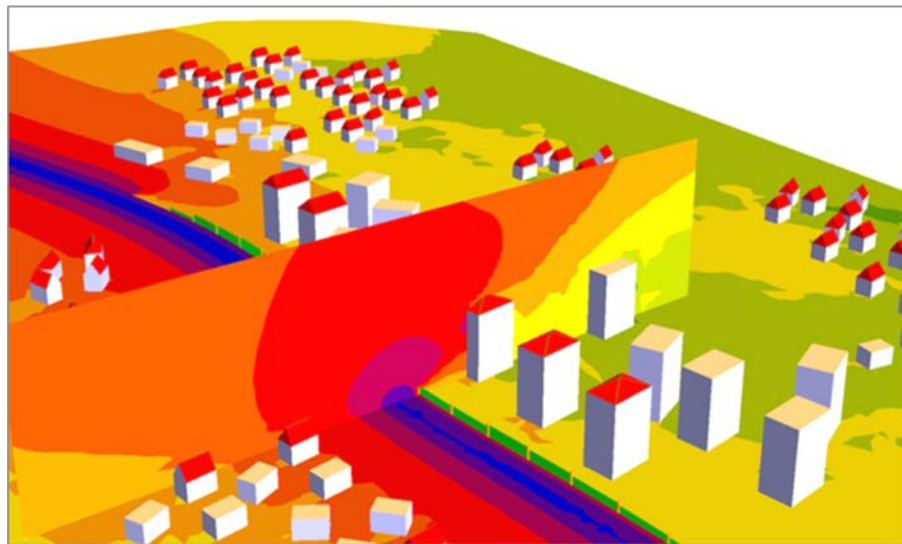


Рис. 5. Карта шума после установки экрана

Рассчитанные уровни шума после установки экрана были импортированы в программу Navisworks, и снова были отслежены «коллизии». Было установлено, что превышение уровней шума наблюдается на высотах более 10 м, поэтому было рекомендовано дополнительное использование шумозащитного остекления.

2.2. Анализ BIM для промышленного здания

Аналогичная процедура создания информационной модели с данными о шуме используется и для производственных помещений в целях снижения уровня шума на рабочих местах. На рис. 6 а) представлена карта шума для производственного цеха. Было получено, что на большинстве рабочих мест уровни шума превышены на 10-15 дБА.

Для снижения уровня шума внутри цеха было предложено применение звукопоглощения с помощью штучных поглотителей, установленных на потолке, и шумопоглощающих штор. Результаты расчетов уровней шума со звукопоглощением (Рис. 6 б) показали, что уровни шума были снижены на 2-14 дБА на рабочих местах № 5, 6 и 7. Для рабочих мест № 1 и 4 постоянные рабочие места должны быть перемещены в зоны с пониженным уровнем шума. Работники № 2 и 3 должны дополнительно использовать средства индивидуальной защиты, такие как наушники.

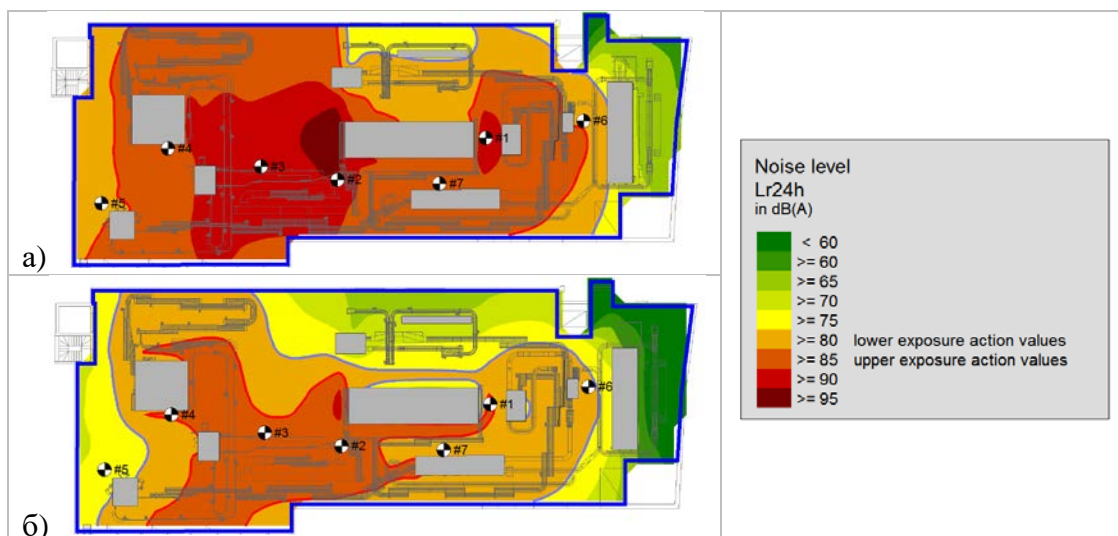


Рис. 6. Карты шума цеха: а) без мероприятий; б) со звукопоглощением

Линия предельно допустимого уровня шума должна быть внедрена в информационную модель здания предприятия с тем, чтобы произвести перепланировку рабочих мест. Шумозащитные конструкции также следует импортировать в BIM, чтобы избежать пересечения с потолочными конструкциями и учесть стоимость звукопоглощения в сметной документации проекта.

Выводы

1. Шум является одним из основных факторов, влияющих на население и рабочих. Это влияние может быть минимизировано при помощи мероприятий шумозащиты.
2. При внедрении информации о шуме в BIM используется обмен данными между программным обеспечением SoundPLAN, AutoCAD 3D и Navisworks.
3. Используя BIM, можно отслеживать превышение уровня шума в жилых помещениях и на рабочих местах.
4. BIM позволяет проектировщикам учитывать результаты оценки шума, устранять проблемы, связанные с повышенным влиянием шума и учитывать шумозащиту в бюджетной документации.

Список литературы

1. Eurostat, Work and health in the EU: a statistical portrait (2004).
2. Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure. Position paper (2006).
3. Commission Directive (EU) 2015/996 establishing common noise assessment methods according to Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council. *Official Journal of the European Union* (2015).
4. СП 276.1325800.2016 Правила проектирования защиты от шума транспортных потоков.
5. BIM-СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ для площадных объектов Autodesk, Inc., М., 118 p. (2015)
6. Анисимов Е.П., Буторина М.В., Тюрина Н.В. Куклин Д.А. Применение технологий информационного моделирования (BIM) при разработке шумозащитных мероприятий для автодорог БСТ: Бюллетень строительной техники. 2016. № 6 (982). С. 18-21.

УДК 331.451
OECD 01.03.AA

Построение карт шума офисных помещений с целью улучшения условий труда работников

Буторина М. В.^{1*}, Куклин Д. А.², Шабарова А. В.³

¹Доцент, Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Россия

²Профессор, Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Россия

³Магистрант, Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

Воздействие повышенных уровней шума на работников способно значительно снижать производительность труда. Шум оказывает воздействие на центральную нервную систему, способствует развитию неврозов и повышению раздражительности. Даже небольшие превышения шума оказывают на человека психологическое воздействие, особенно, если человек занят умственной работой. Повышенный шум может привести к утомляемости, ухудшению восприятия информации, снижению реакции. Расчет шума в офисном помещении проводится на основании утвержденных методик с учетом размеров и формы помещения, звукопоглощения различных поверхностей, расположения рабочих мест и источников шума в помещении, наличия экранирующих сооружений. Наиболее полную картину распространения шума в помещении можно получить, используя карты шума, разработанных при помощи специализированных программ. В данной статье рассматривается офисное помещение, для которого были разработаны карты шума. Информация, полученная при помощи карт шума, позволила оценить вклад источников шума в общую акустическую ситуацию, определить наличие и степень превышения предельно допустимых уровней шума, а также разработать рекомендации по снижению шума.

Ключевые слова: шум, карты шума, шум на рабочих местах, компьютерное моделирование, офисный шум.

Noise Mapping for office space to improve the working conditions

Butorina M. V.^{1*}, Kuklin D. A.², Shabarova A. V.³

¹ Assistant Professor, Baltic State Technical University «VOENMEH», Saint-Petersburg, Russia

² Professor, Baltic State Technical University «VOENMEH», Saint-Petersburg, Russia

³ Student, Baltic State Technical University «VOENMEH», Saint-Petersburg, Russia

Abstract

The impact of noise pollution on workers can reduce productivity. Noise has an effect on the central nervous system, contributes to the development of neurosis and increased irritability. Even small excesses of noise have a psychological effect on a person, especially if a person is engaged in mental work. Increased noise can lead to increased fatigue, impaired perception of information, reduced reaction. The calculation of noise in the office space is carried out on the basis of approved methods, taking into account the size and shape of the room, sound absorption of various surfaces, the location of workplaces and noise sources in the room, the presence of shielding structures. The most complete picture of the distribution of noise in the room can be obtained using noise maps developed with the help of specialized programs. This article discusses the office space for which noise maps have been developed. Information obtained using noise maps made it possible to assess the contribution of noise sources to the general acoustic situation, determine the presence and degree of exceeding the maximum permissible noise levels, and also develop recommendations for reducing noise.

Введение

Проблеме шума в офисных помещениях на сегодняшний день уделяется меньшее внимание, нежели шуму на рабочих местах промышленных предприятий или транспортному шуму на селитебных территориях, тем не менее, многие офисные работники страдают от воздействия повышенных уровней шума. Сегодня в больших компаниях существует тенденция организации офисного пространства по типу «open space», при котором все сотрудники располагаются в одном большом помещении, а рабочие места могут быть разделены невысокой тонкой перегородкой. Данный тип, несмотря на больше количество плюсов, среди которых в первую очередь стоит отметить более низкую стоимость помещений, имеет ряд недостатков, одним из наиболее значительных из них является шум. Основными источниками шума в таких помещениях являются переговоры сотрудников между собой, телефонные разговоры, работающая офисная техника, кондиционеры и вентиляторы. Несмотря на то, что на первый взгляд уровни шума данных источников кажутся недостаточно высокими для того чтобы вызвать какие-либо значимые последствия, по сравнению с работающим оборудованием на промышленном предприятии, увеличение уровня шума на каждый 1 дБ сверх нормы приводит к снижению производительности труда на 1 %.

Уровень звука 50 – 60 дБА оказывает на человека психологическое воздействие, особенно, если человек занят умственной работой. Такой шум может привести к повышенной утомляемости, ухудшению восприятия информации, снижению реакции и, как следствие, снижению производительности труда, шум в 70 дБА затрудняет разборчивость речи. [1, 2]

Оценить уровни шума на рабочих местах можно при помощи построения карт шума. В данной статье будет рассмотрено офисное помещение площадью 150 кв. м., в котором расположено 30 рабочих мест.

1. Построение карт шума офисного помещения

Для построения карт шума была использована программа SoundPLAN. Первый этап построения карты шума включает в себя создание цифровой модели с учетом геометрических особенностей помещения, расположения рабочих мест, акустических характеристик материалов, используемых в помещении. В помещении установлены перегородки, разделяющие рабочие пространства, выполненные из силикатного стекла толщиной 8 мм. Звукоизоляция перегородок была рассчитана по методике СП 23-103-2003 «Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий» [3]. Результаты расчета представлены в таблице 1.

Таблица 1

Изоляция воздушного шума перегородкой в нормируемом диапазоне частот:

Частота, Гц	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
R, дБА	22	23	25	26	28	29	31	32	34	35	33	31	29	32	34	37

Звукопоглощение поверхностей (столов, стульев, перегородок, стен, окон, двери) было принято в соответствии с ГОСТ Р ЕН 12354-6-2012 «Акустика зданий. Методы расчета акустических характеристик зданий по характеристикам их элементов. Часть 6. Звукопоглощение в закрытых пространствах» [4, 5].

В качестве источника шума был выбран точечный источник с уровнем звука 70 дБА, расположенный рядом с рабочим местом одного из сотрудников. Все необходимые данные были занесены в программу, после чего была посчитана плоская карта шума помещения, представленная на рисунке 1. Карта шума была построена на высоте 0,9 м от пола помещения, что соответствует высоте на которой находятся уши работников при работе сидя, при построении карты шума плоскость была разбита на точки по сетке с шагом 0,1 м [6, 7]. Данная карта позволяет увидеть, как изменяются уровни шума в офисном помещении во время телефонного звонка или громкого разговора.

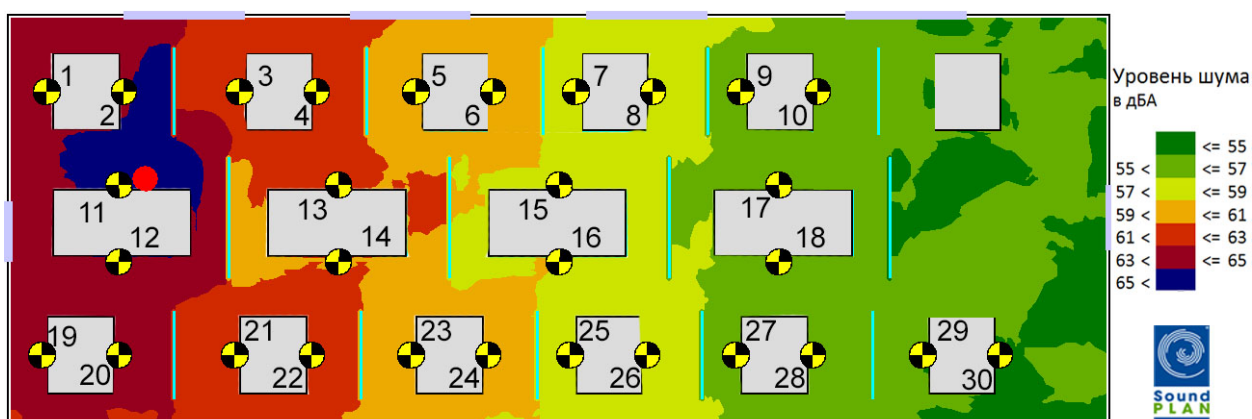


Рис. 1. Плоская карта шума помещения

На рисунке 2 представлена вертикальная карта шума помещения, которая позволяет увидеть, как распространяется звук в данном помещении не только в продольной, но и в поперечных плоскостях, проходящих, через точку, в которой расположен источник звука параллельно стенам помещения.

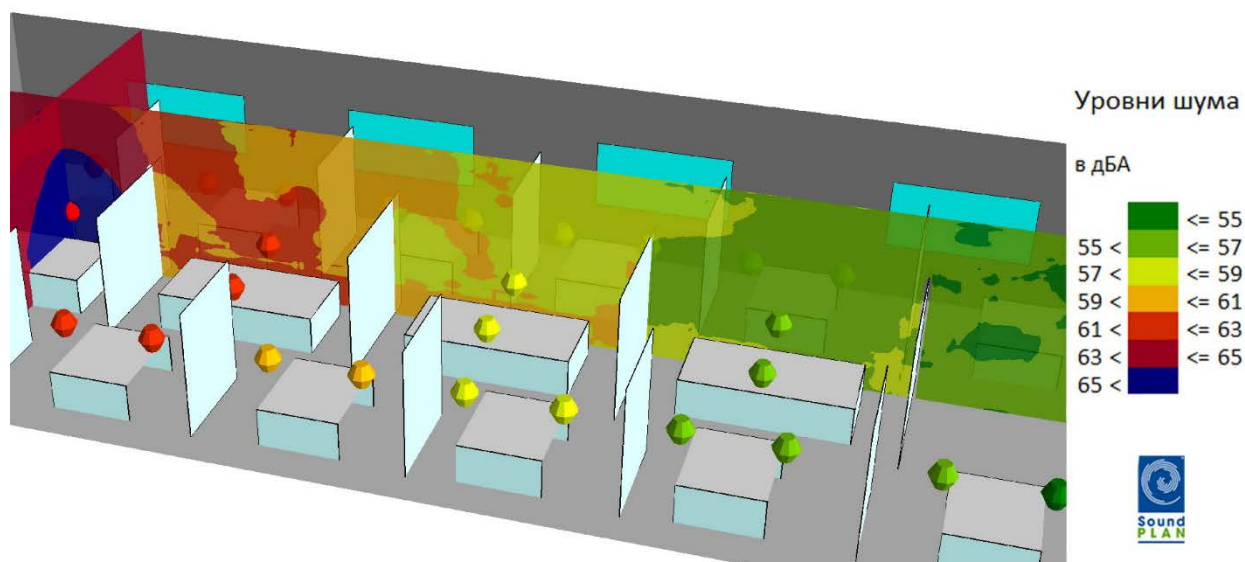


Рис. 2. Вертикальная карта шума помещения

2. Уровни шума на рабочих местах

Помимо карт шума при помощи SoundPLAN были рассчитаны уровни шума в расчетных точках, расположенных на рабочих местах. В таблице 2 приведены результаты расчета.

Таблица 2
Уровни шума на рабочих местах

Номер рабочего места (в соответствии с рисунком 1)	Уровень шума, дБА	Нормативное значение, дБА [8]	Превышение ПДУ, дБА
1	63,8	50	13,8
2	64,3	50	14,3
3	62,1	50	12,1
4	62,1	50	12,1
5	59,5	50	9,5
6	59,9	50	9,9
7	57,6	50	7,6
8	57,6	50	7,6
9	55,2	50	5,2
10	56,4	50	6,4
11	67,7	50	17,7
12	64,3	50	14,3
13	61,0	50	11
14	61,2	50	11,2
15	59,0	50	9
16	58,7	50	8,7
17	56,1	50	6,1
18	55,6	50	5,6
19	63,3	50	13,3
20	63,1	50	13,1
21	61,8	50	11,8
22	61,2	50	11,2
23	59,5	50	9,5
24	59,6	50	9,6
25	57,9	50	7,9
26	58,3	50	8,3
27	56,3	50	6,3
28	55,8	50	5,8
29	55,4	50	5,4
30	55,0	50	5

Из таблицы 2 следует, что превышения уровней шума на рабочих местах составляют 5 – 17,7 дБА, что приводит к заметному снижению работоспособности. Во избежание подобных ситуаций, следует ограничивать использование телефонов и личных целей, избегать громких разговоров, исключить использование музыкальных колонок. Также в офисных помещениях следует проводить шумозащитные мероприятия, например, использовать звукопоглощающие материалы для перегородок или облицовки стен. [9, 10]

Заключение

В офисных помещениях с большим количеством рабочих мест существует проблема шума. Даже незначительные источники шума могут причинять дискомфорт работникам, и, как следствие, снижать их работоспособность. Карты шума позволяют увидеть, как распространяется шум в помещении, и оценить уровни шума на рабочих местах. Как показывает расчет, источник шума с уровнем звука 70 дБА, что соответствует громкому разговору или телефонному звонку, становится причиной превышения предельно допустимых уровней шума на 100 % рабочих мест, что приводит к значительному снижению работоспособности сотрудников офиса. Для минимизации

воздействия шума необходимо ограничить число личных разговоров, исключить использование средств воспроизведения звука или использовать наушники, если существует такая рабочая необходимость. Рабочие места сотрудников, чья деятельность связана с большим количеством телефонных разговоров должны находиться отдельно от остальных рабочих мест. Для дополнительного снижения шума на отдельных рабочих местах можно применять звукопоглощающие облицовки.

Список литературы

1. Тищенко А. С., Куклин Д. А., Тюрина Н. В. Проблема воздействия повышенного шума на рабочих местах в российской федерации и зарубежом // Защита от повышенного шума и вибрации сборник докладов. Министерство образования и науки Российской Федерации Балтийский государственный технический университет "Военмех". – СПб., 2017. С. 447-450.
2. Basner M. et al. Auditory and non-auditory effects of noise on health // The Lancet, 2014, Vol. 383, Issue 9925, pp. 1325-1332.
3. СП 23-103-2003 «Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий» СПб.: ДЕАН, 2004 – 80 С.
4. ГОСТ Р ЕН 12354-6-2012 «Акустика зданий. Методы расчета акустических характеристик зданий по характеристикам их элементов. Часть 6. Звукопоглощение в закрытых пространствах» М.: Стандартинформ, 2014 – 23 С.
5. Справочник проектировщика. Защита от шума. / Е. Я. Юдин, И. Д. Рассадина, В. Н. Никольский и др.; Под ред. Е. Я. Юдина. - М.: Стройиздат, 1974. - 134 с.
6. ГОСТ 12.1.050-86 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Методы измерения шума на рабочих местах (с Изменением N 1)» М.: Стандартинформ, 2007 – 17 С.
7. Куклин Д. А., Буторина М. В., Дроздова Л. Ф., Шабарова А. В. Применение карт шума для улучшения условий труда офисных работников // Материалы научной конференции "традиции и инновации", посвященной 190-й годовщине образования санкт-петербургского государственного технологического института (технического университета). СПб., 2018. С. 182.
8. СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах» [электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <http://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293753/4293753139.htm> (дата обращения 10.02.2019).
9. Кирпичников В. Ю., Титов Б. В., Дроздова Л. Ф. Снижение шума в помещениях // Защита населения от повышенного шумового воздействия Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – СПб., 2015. – С. 113-127.
10. Осипов Г. Л., Бобылев В. Н. Звукоизоляция и звукопоглощение / Учебник. М.: АСТ, Астрель, 2004. — 450, с. ил.

УДК 628.517.2
OECD 01.03.AA

Оценка общего эффекта дорожного и железнодорожного шума и разработка мероприятий по его снижению

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

¹ Профессор, Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Россия

² Профессор, Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Россия

³ Магистрант, Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

Дорожный шум занимает первое место по масштабам акустического загрязнения в Европе и России, второе место занимает железнодорожный шум. Ситуации, когда территория и люди страдают от общего воздействия обоих источников, достаточно распространены. Исследования показывают, что железнодорожный шум оказывает меньшее вредное воздействие, чем дорожный шум, поскольку в европейских методах расчета применяется особый бонус для этого типа шума. В России такие бонусы не используются. Масштаб акустического загрязнения от автомобильного и железнодорожного транспорта оценивается в статье. Разделение вклада источников предлагается с использованием шумового картирования на примере одного из районов Санкт-Петербурга. Комплекс мер защиты от шума разработан, чтобы добиться снижения шума от обоих источников.

Ключевые слова: дорожный шум, железнодорожный шум, расчет, картирование шума, шумоподавление

Evaluation of the common effect of road and rail noise and the development of measures to reduce it

Kuklin D.A.^{1}, Drozdova L.F.², Shabarova A. V.³*

*¹ Professor, Baltic State Technical University «VOENMEH»,
Saint-Petersburg, Russia*

*² Professor, Baltic State Technical University «VOENMEH»,
Saint-Petersburg, Russia*

*³ Student, Baltic State Technical University «VOENMEH»,
Saint-Petersburg, Russia*

Abstract

Road noise takes the first place on the scope of acoustical pollution in Europe and Russia, the second place is occupied by the rail noise. The situations when the territory and people suffer from the common effect of both sources are quite spread. Researches show that rail noise causes less harmful impact than the road noise, due to that a special bonus for this type of noise is applied in European calculation methods. In Russia such bonuses are not used. The scope of acoustical pollution coming from the road and rail transport is evaluated in the paper. The separation of the contribution of sources is proposed using noise mapping on the example of a

* Автор корреспонденции: kda1969@mail.ru (Куклин Д.А.)

Key words: road noise, rail noise, calculation, noise mapping, noise reduction

Введение

Автомобильный и железнодорожный транспорт сегодня – неизбежные спутники человеческой цивилизации. По масштабам акустического воздействия, согласно исследованиям, проведенным в России и Европе автомобильный и железнодорожный транспорт, занимают первое и второе места. Железнодорожный транспорт по сравнению с другими видами транспорта, обладает рядом преимуществ при оценке воздействия на окружающую среду. Однако железнодорожное сообщение серьезно увеличивает акустическое загрязнение ОС и нередко вредно воздействует на население. От 50 до 70% населения развитых и развивающихся территорий подвержено вредному воздействию шума от железнодорожного транспорта, которое является угрозой здоровью, вызывая риск сердечно-сосудистых заболеваний, снижение работоспособности, нервно-психические заболевания и пр. а также является причиной беспокойства и дискомфорта. Нередки случаи, когда автомобильная и железная дороги проходят рядом и селитебные территории подвергаются сочетанному воздействию шума как автомобильного транспорта, так и железнодорожного. Поэтому вопрос разработки обоснованных мероприятий по снижению шума в таких ситуациях становится все более актуальным. [1]

Наиболее удобным источником информации об акустической ситуации на территории населенных пунктов являются карты шума. Карты шума должны быть составлены для всех автомобильных дорог с интенсивностью движения более 3 млн автомобилей в год и железных дорог с интенсивностью движения более 30 тыс. поездов в год. [2]

Карты шума на текущий период, служащие для оценки существующего шумового режима, выполняются с целью исключения, предупреждения или снижения вредного воздействия шума автомобильного и железнодорожного транспорта на человека и окружающую среду. Для этого на базе единых методов контроля шума проводят составление оперативных шумовых карт, на основе которых выявляют зоны акустического дискомфорта и разрабатывают организационные, технические и строительные мероприятия по защите населения от шума. Оперативные карты шума, разрабатываемые в составе проектов реконструкции существующих и строительства новых объектов автомобильного и железнодорожного транспорта, позволяют оценить акустическую ситуацию на планируемый период и выбрать необходимые шумозащитные мероприятия для прилегающей селитебной территории. Таким образом, карты шума служат также действенным инструментом контроля и борьбы с шумом.

В качестве примера применения карт шума для разделения вкладов различных источников шума в общую акустическую ситуацию в данной статье рассматривается территория поселка Ленинградской области, в котором железная и авто дороги проходят в непосредственной близости от жилой застройки. [3]

1. Построение карт шума

Для оценки воздействия шума на прилегающую селитебную территорию были использованы карты шума, построенные при помощи программного комплекса SoundPLAN. Процесс составления карты шума включает в себя:

1. сбор данных об источниках шума;

2. составление модели местности (рельеф, здания, помещения);
3. расчет распространения шума;
4. анализ полученных данных и разработка рекомендаций.

На первом этапе были определены шумовые характеристики железной и авто дорог. Шумовые характеристики потоков автотранспорта были получены путем проведения натурных измерений в соответствии с ГОСТ 2044-2014 «Шум. Транспортные потоки. Методы определения шумовой характеристики» [4]. Измерения проводились в часы максимальной интенсивности движения автотранспорта в дневное и ночное время. При измерении шума транспортного потока микрофон располагался на высоте $(1,5 \pm 0,1)$ м, на расстоянии $(7,5 \pm 0,2)$ м от оси ближайшей полосы движения и был направлен в сторону транспортного потока. Места проведения измерения выбирались на участках улиц и дорог с установившейся скоростью движения транспортных средств и на расстоянии не менее 50 м от перекрестков, транспортных площадей и остановочных пунктов пассажирского общественного транспорта. В качестве основных источников шума было выбрано 10 автодорог с наибольшей интенсивностью движения. По результатам измерений шумовые характеристики потоков автотранспорта (эквивалентные уровни звука на расстоянии 7,5 м от оси ближайшей полосы движения) составили 59-76 дБА в дневное время и 55-72 дБА в ночное время. Поскольку разность измеренных максимального и эквивалентного уровней звука не более 15 дБА в дальнейшем расчете учитывались только эквивалентные уровни звука.

Шумовая характеристика потока железнодорожного транспорта была рассчитана в соответствии с ГОСТ 33325-2015 «Шум. Методы расчета уровней внешнего шума, излучаемого железнодорожным транспортом» [5]. На данном участке пути проходит 3 категории поездов: скоростные поезда, электропоезда, грузовые поезда. Поезда распределялись равномерно для дневного и ночного времени. С учетом интенсивности и скорости движения была рассчитана шумовая характеристика потока железнодорожного транспорта. Суммарные эквивалентные уровни шума потока железнодорожного транспорта на расстоянии 25 м от оси ближнего пути на рассматриваемом участке составили 74 дБА в дневное время и 74 дБА в ночное время.

При помощи топографических карт с отметками высот, Yandex и Google крат, была разработана модель местности с учетом особенностей рельефа и застройки. Что позволило получить наиболее полную картину распространения шума на территории.

При построении карты шума вся территория разбивалась на расчетные точки по сетке с шагом 10 м. После определения уровней шума в расчетных точках, точки с равными уровнями звука соединялись изолиниями, в результате чего были получены линии равного уровня звука на территории с шагом в 5 дБА, что соответствует условиям нормирования шума. На рис. 1 приведена карта шума территории поселка, прилегающей к железной дороге, для эквивалентного уровня звука в ночное время. [6, 7]

Как показывает карта шума, при совместном влиянии автодороги и железной дороги значительная часть территории, прилегающей к железной дороге находится в зоне воздействия повышенных уровней шума. По результатам расчета уровней шума у фасадов жилых зданий были выявлены превышения, достигающие 20 дБА в дневное время и 28 дБА в ночное время, что говорит о необходимости разработки шумозащитных мероприятий.

Так как на рассматриваемой территории имеются два основных источника шума для разработки шумозащиты необходимо определить какой из них вносит больший вклад в общую картину и, соответственно, шум какого из них необходимо снизить в первую очередь.

Для разделения вкладов источников шума были построены карты шума отдельно для автодорог и железной дороги. На рис. 2 – 3 показаны карты шума от железной дороги и автодороги соответственно эквивалентного уровня звука в ночное время.

Превышения эквивалентных уровней звука над нормативными значениями по уровням шума для дневного времени для разных источников составляют:

- для железнодорожного транспорта 0,5-17,0 дБА;
- для автотранспорта: 0,5-13,6 дБА;
- превышение суммарных уровней воздействия 0,1-20,1 дБА.

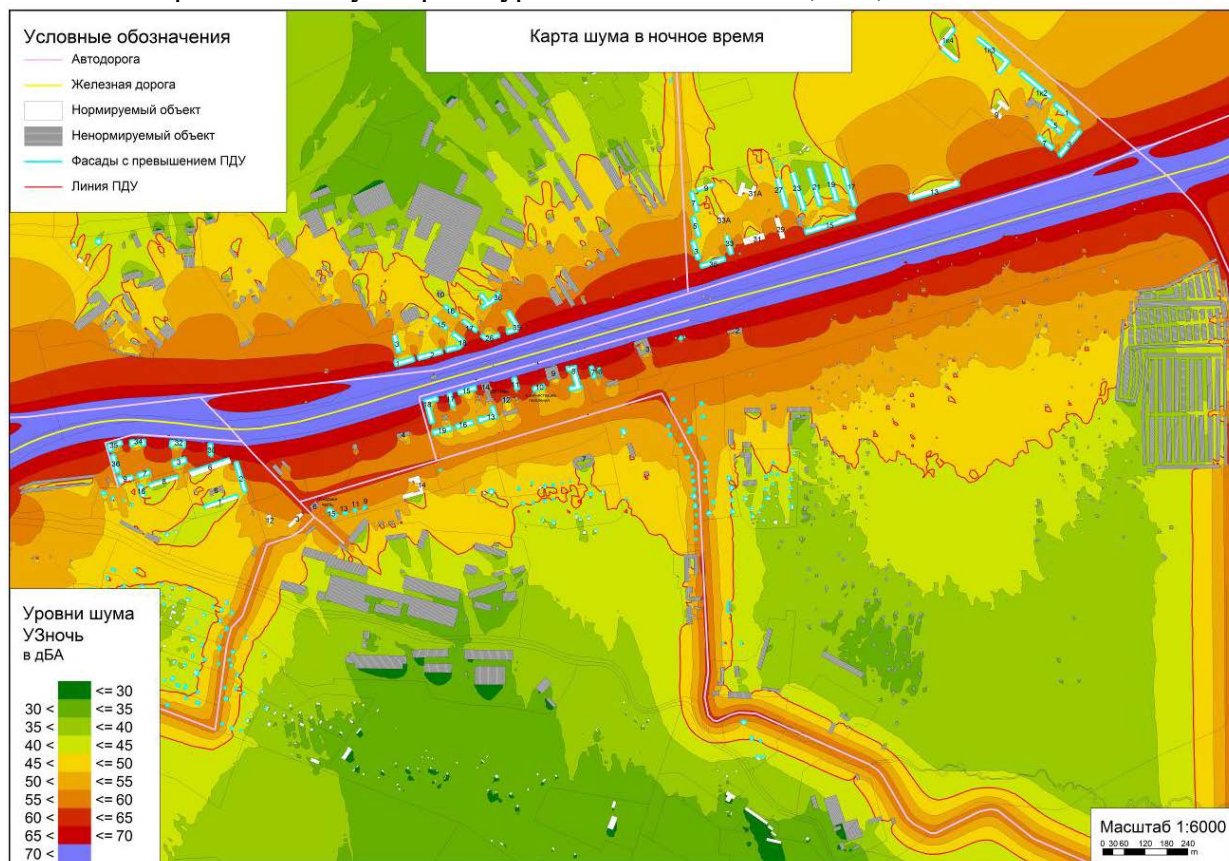


Рис. 1. Карта шума территории поселка для эквивалентного уровня звука в ночное время.

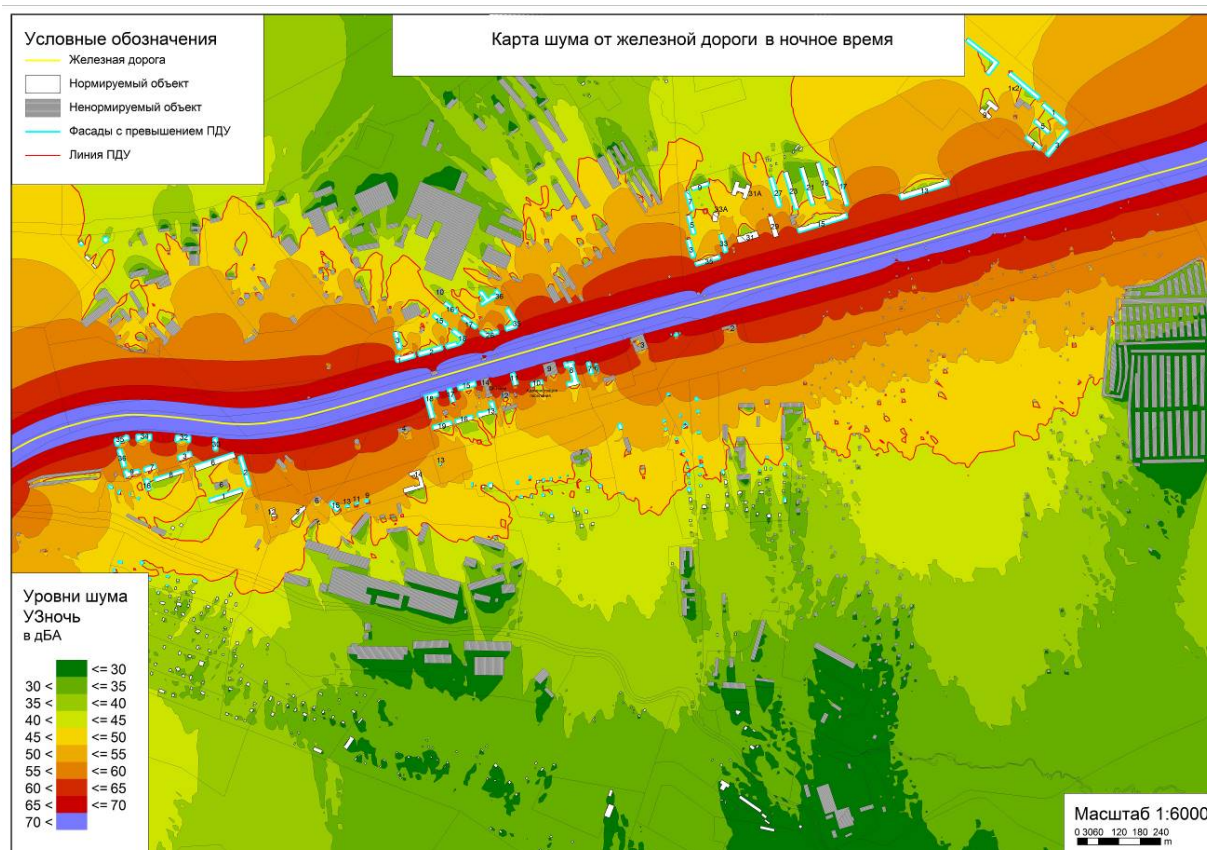


Рис. 2. Карта шума карта шума от железной дороги для эквивалентного уровня звука в ночное время.

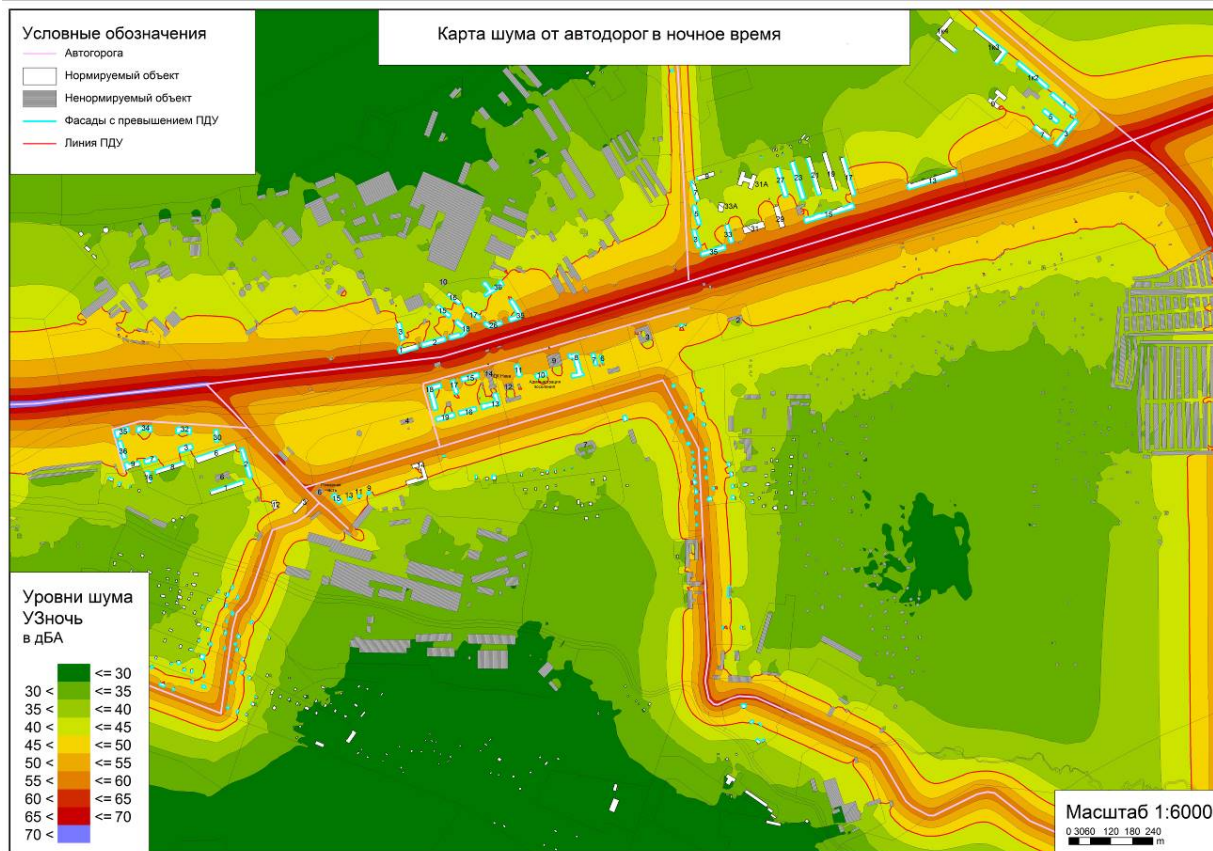


Рис. 3. Карта шума карта шума от автомобильной дороги для эквивалентного уровня звука в ночное время.

Превышения эквивалентных уровней звука над нормативными значениями по уровням шума для ночного времени для разных источников составляют:

- для железнодорожного транспорта 1,1-27,5 дБА;
- для автотранспорта: 0,5-21,6 дБА;
- превышение суммарных уровней воздействия 3,3-28 дБА.

2. Разработка шумозащитных мероприятий

Исходя из расчетов можно сделать вывод, что железная дорога вносит большой вклад в акустическую ситуацию на территории. С учетом этого было предложено два варианта шумозащитных мероприятий. Для защиты населения от шума и его снижения на территории и в жилых помещениях в качестве шумозащиты были выбраны шумозащитные экраны и шумозащитное остекление. В первом варианте предлагалось установить шумозащитные экраны высотой 5,5 м вдоль железной дороги по обе ее стороны, тем самым снизив шум железной дороги, и выполнить шумозащитное остекление домов, на фасадах которых будут наблюдаться превышения предельно допустимых уровней шума после установки шумозащитных экранов. Во втором варианте шумозащитные экраны предлагалось установить вдоль железной дороги с южной стороны (высота экрана 5,5 м) и вдоль автодороги с северной стороны (высота экрана 5 м), тем самым снизив воздействие не только железной, но и автодороги, и кроме того также выполнить шумозащитное остекление домов, на фасадах которых после установки шумозащитных экранов будут наблюдаться превышения предельно допустимых уровней шума. Для того, чтобы определить какой из вариантов шумозащитных мероприятий будет наиболее эффективным, были построены карты шума с учетом шумозащиты. На рис. 4 показана карта шума с учетом шумозащитных экранов, установленных вдоль железной дороги.

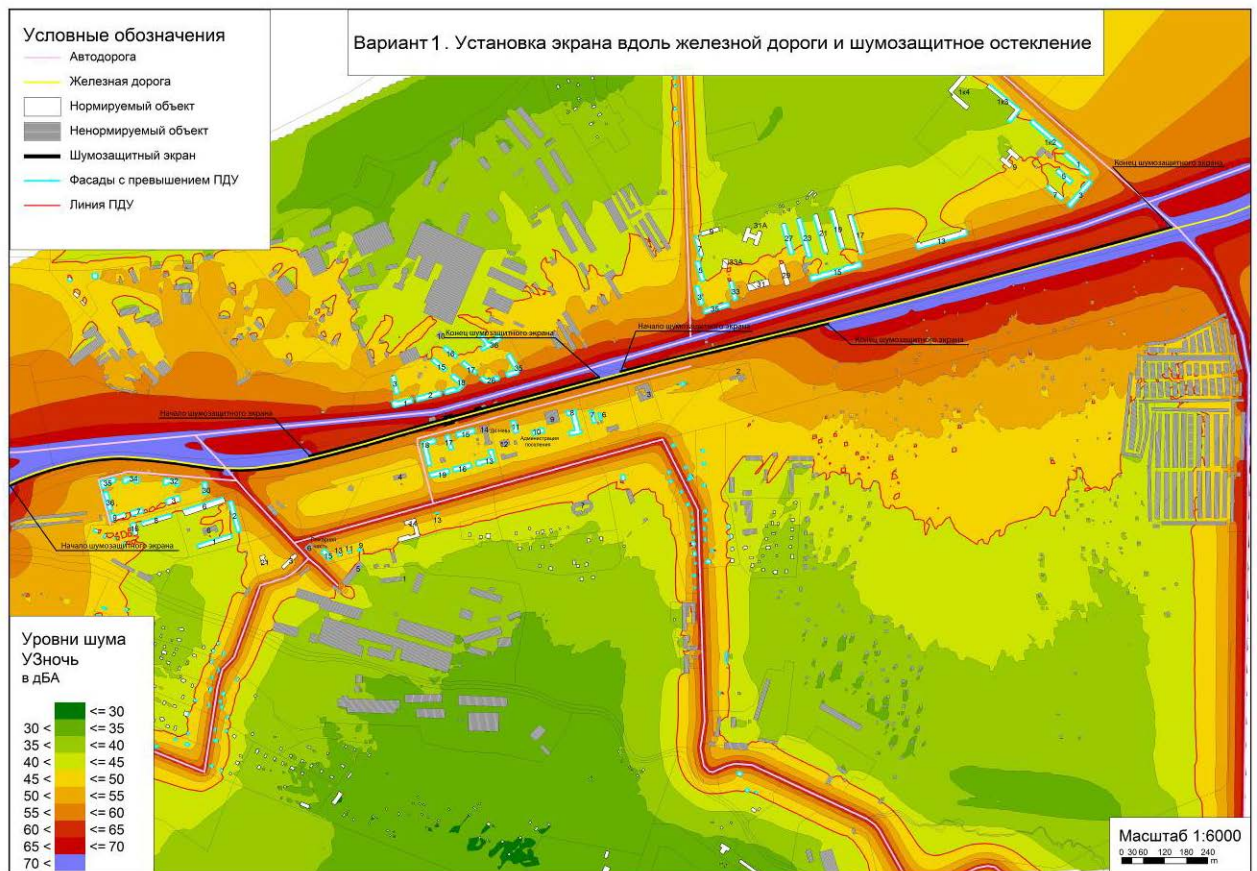


Рис. 4. Карта шума территории поселка для эквивалентного уровня звука в ночное время с учетом 1 варианта шумозащитных мероприятий.

На карте можно легко увидеть, что, несмотря на то, что полностью снижения шума до нормы не удалось, уровни шума на территории у фасадов с южной стороны стали заметно ниже, по результатам расчетов превышения эквивалентных уровней звука там составили 14,3 дБА в ночное время. Однако, на севере шум автодороги по-прежнему создает большие превышения на прилегающей территории (эквивалентный уровень звука в ночное время превышен на 23 дБА).

Для второго варианта шумозащитных мероприятий также были разработаны карты шума. Карта шум территории в ночное время для эквивалентного уровня звука с учетом шумозащитного экрана, установленным вдоль железной дороги и вдоль автомобильной дороги представлена на рис. 5. При таком варианте установки шумозащитных экранов превышения предельно допустимых эквивалентных уровней звука на территории составят до 12 дБА в ночное время. Данный способ расстановки шумозащитных экранов является более эффективным и, несмотря на то, что он не позволяет добиться нормативных значений уровней звука на территории, значительно снижает шум. [8]

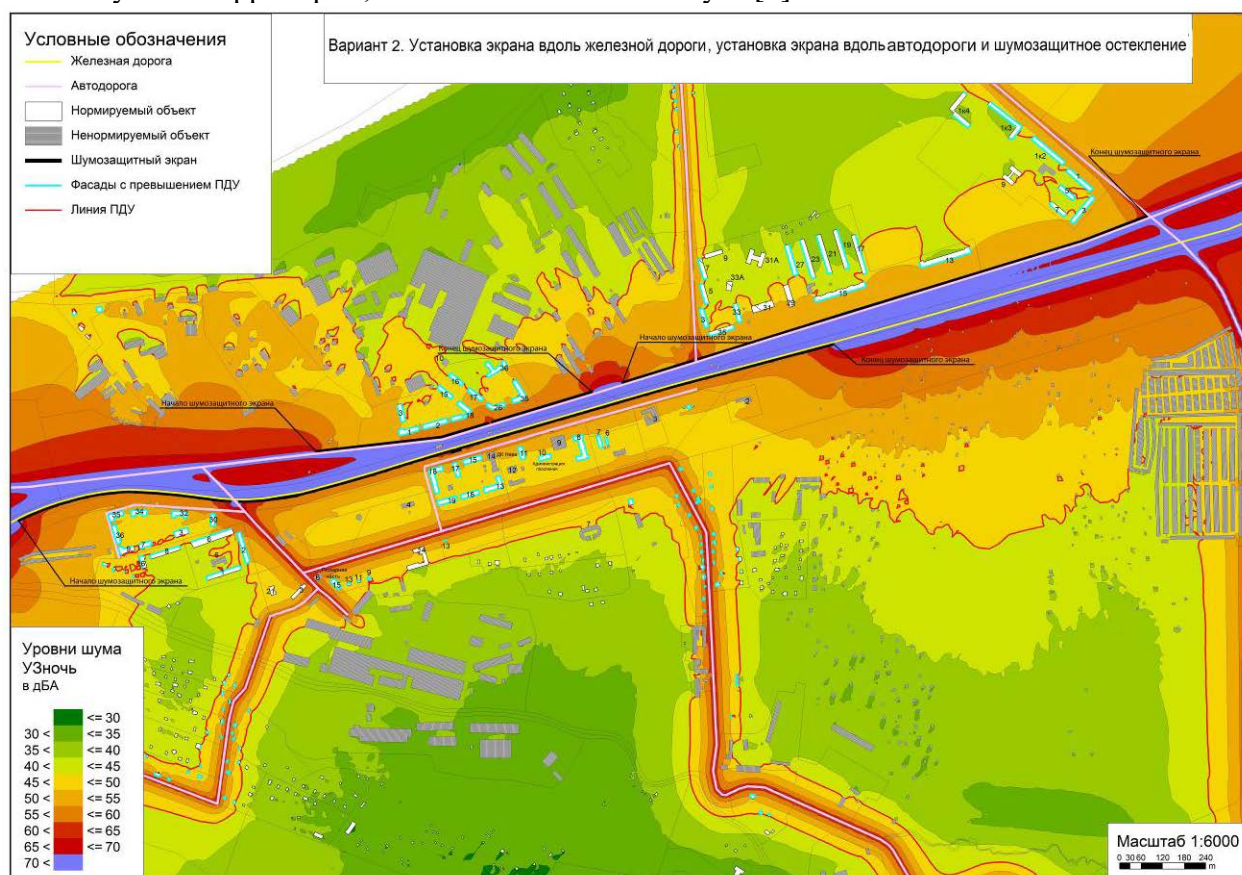


Рис. 5. Карта шума территории поселка для эквивалентного уровня звука в ночное время с учетом 2 варианта шумозащитных мероприятий.

Заключение

При разработке шумозащитных мероприятий для территорий, на которых основными источниками шума одновременно являются и железная и автомобильная дороги необходимо иметь четкое представление о том, какой вклад в общую акустическую ситуацию вносит каждый из источников. В рассмотренном примере, в поселке, где автомобильная и железная дороги проходят в непосредственной близости друг от друга по территории жилой застройки оказалось недостаточным снизить шум только одного из источников шума. Только разработка комплекса мероприятий по снижению как

автомобильного, так и железнодорожного шума, в совокупности с применением шумозащитного остекления позволяет достигнуть ощутимых снижений уровней шума.

На сегодняшний день наиболее удобным способом разделения вкладов источников шума является построение карты шума. Рассмотрев в отдельности карты шума для железной дороги и автодороги можно сделать вывод о том, какой из источников создает наибольшее превышение уровней шума на территории, или, как в данной ситуации, увидеть, что оба источника оказывают сильное шумовое воздействие на территорию и разработать шумозащитные мероприятия с учетом их совместного воздействия.

Список литературы

1. Иванов Н.И., Буторина М.В., Минина Н.Н. Проблема защиты от шума Вестник МГСУ. 2011. № 3-1. С. 135-145.
2. Commission Directive (EU) 2015/996 establishing common noise assessment methods according to Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council. Official Journal of the European Union 2015
3. Васильев А.П., Шабарова А.А., Буторина М.В., Куклин Д.А. Оценка шума железнодорожного транспорта как фактора риска здоровью населения, Труды X Общероссийской молодежной научно-технической конференции. Сер. "Библиотека журнала «Военмех. Вестник БГТУ» №50", Балтийский государственный технический университет "Военмех" (Санкт-Петербург), 2018. – С. 319-324.
4. ГОСТ 2044-2014 «Шум. Транспортные потоки. Методы определения шумовой характеристики» М.: Стандартинформ, 2015. – 15 с.
5. ГОСТ 33325-2015 «Шум. Методы расчета уровней внешнего шума, излучаемого железнодорожным транспортом» М.: Стандартинформ, 2016. – 23 с.
6. Буторина М.В. Карты шума оперативные для железнодорожного транспорта. Общие требования и методы построения В сборнике: Защита от повышенного шума и вибрации Сборник докладов V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. под редакцией Н.И. Иванова. 2015. С. 104-112.
7. Буторина М.В., Берндт А., Шаль Й. Контроль шума с помощью новейшей сертифицированной программы для расчета шума soundplan В сборнике: Защита населения от повышенного шумового воздействия Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Под редакцией Н.И. Иванова, К.Б. Фридмана. 2015. С. 66-76.
8. Буторина М.В., Минина Н.Н., Тюрина Н.В., Анисимов Е.П. Разработка шумозащитных мероприятий для автодорог с использованием технологий информационного моделирования В сборнике: Защита от повышенного шума и вибрации сборник докладов. Министерство образования и науки Российской Федерации Балтийский государственный технический университет "Военмех". 2017. С. 69-78.

Защита от повышенного шума и вибрации

Редакция: Общество с ограниченной ответственностью
«Институт акустических конструкций»
198095, Санкт-Петербург, ул.Промышленная, д.19, лит.Р
тел.:8(812)500-08-26; e-mail: info@iakbarier.ru
Редакторы *В.В. Светлов, В.В. Кутнов, В.А. Васильев*
Компьютерная верстка *В.В. Кутнов*

Издательство: Балтийский государственный технический университет
им. Д.Ф. Устинова "ВОЕНМЕХ"
190005, Санкт-Петербург, 1-я Красноармейская ул., д.1.

Полиграфическое исполнение: Типография «Печатный Цех»
192236, Санкт-Петербург, ул. Белы Куна, 32
Подписано в печать 14.03.2019. Формат бумаги 60×84/16.
Бумага офсетная. Печать трафаретная.
Усл. печ. л. 45. Тираж 200 экз.

*Сборник докладов VII Всероссийской научно-практической
конференции с международным участием
"Защита от повышенного шума и вибрации"*