

УДК: 628.517.2
OECD: 1.03.AA

Методика выбора оптимального шумозащитного комплекса

Борцова С.С.^{1*}, Петров С.К.², Куклин Д.А.³

^{1,2}К.т.н., доцент, ³д.т.н., профессор,

^{1,2,3}Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, РФ

Аннотация

Объекты строительства транспортной инфраструктуры требуют от проектировщика решения задачи снижения шума, реализация которого зачастую возможна только дорогостоящим комплексом шумозащитных мероприятий. При этом нормативные документы содержат формальные процедуры их экономической оценки, нет связи с другими критериями выбора. В статье предлагается методика выбора шумозащитного комплекса автомобильных и железных дорог, включающего экранирующие сооружения. Предложен алгоритм выбора состава такого комплекса с учётом технологических и эксплуатационных требований к сооружениям, методика его оценки по экономическому критерию, алгоритм составления матрицы экоэффективности вариантов оптимальных комбинаций средств защиты (насаждения, остекление, ближняя защита) с экранирующими сооружениями (экран, выемка, насыпь) оптимальной высоты. Предложенная методика позволит проектировщику в реальном времени оценить, как изменение состава шумозащитного комплекса повлияет на стоимость проекта в долгосрочной перспективе. Разработан подход, устанавливающий связь между акустической и экономической эффективностями шумозащитного комплекса.

Ключевые слова: шумозащитный комплекс, экранирующие сооружения, экономическая эффективность, стоимость шумозащиты, акустическая эффективность, выбор шумозащитного комплекса

Methodology for selecting the optimal noise protection complex

Bortsova S.S.^{1}, Petrov S.K.², Kuklin D.A.³*

^{1,2}Ph.D., Associate Professor, ³D.Sc., Professor,

^{1,2,3}Baltic State Technical University 'VOENMEH', St. Petersburg, Russia

Abstract

Construction objects of transport infrastructure require the designer to solve the task of noise reduction, the implementation of which is often only possible through an expensive complex of noise protection measures. At the same time, regulatory documents contain formal procedures for their economic assessment, with no link to other selection criteria. The article proposes a methodology for selecting a noise protection complex for roads and railways, including screening structures. An algorithm is suggested for choosing the components of such a complex, taking into account the technological and operational requirements for the structures, a method for assessing it by economic criteria, and an algorithm for compiling a cost matrix of optimal combinations of protective measures (plantings, glazing, asphalt) with screening structures (screen, excavation, embankment) of optimal height. The proposed methodology will allow the designer to assess in real time how changes

**E-mail: bortsova_ss@voenmeh.ru (Борцова С.С.)*

in the composition of the noise protection complex will affect the long-term cost of the project. An approach has been developed that establishes a link between the acoustic and economic efficiencies of the noise protection complex.

Keywords: noise protection complex, screening structures, economic efficiency, cost of noise protection, acoustic efficiency, selection of noise protection complex

Введение

Большое количество проектов строительства объектов транспортной инфраструктуры и развития городских территорий, реализуемых в настоящее время в России, требуют решения задач защиты населения от шума. Соблюдение нормативных требований акустической безопасности дорог для близлежащей застройки обеспечивается только комплексом шумозащитных мероприятий, реализация которого может достигать до 10% стоимости объекта, без учёта трудно поддающихся оценке проектировщиков расходов на стадии эксплуатации [1]. Выбор экономически оптимального шумозащитного комплекса – важная технико-экономическая задача. Для её решения необходима максимально полная оценка экономической эффективности мер при обеспечении эксплуатационных, технологических и др. требований.

Рекомендации по выбору шумозащитных мероприятий, представленные в действующих нормативно-технических документах (НТД), сводятся к формальной процедуре, не позволяющей получить реально значимые экономические результаты для последующих выводов о целесообразности их внедрения [2], [3].

В СП 338.1325800.2018 [4] выбор мероприятий по обеспечению требуемого снижения шума осуществляется при сравнении и оценке вариантов по эффективности, стоимости и критериям, не влияющим на эффективность. Приоритетные условия выбора: эффективность, безопасность, оптимальная стоимость, сопутствующие показатели (эстетика, удобство расположения и строительства). Критерии оценки, помимо акустической эффективности, не уточняются. В СП 276.1325800.2016 [5] приводятся требования к шумозащитным мероприятиям, отсутствует алгоритм выбора мер и их оценка.

ОДМ 218.2.013-2011 [6] помимо указанных требований содержит экономическую оценку устройства шумозащитных сооружений на автомобильных дорогах, критериями которой являются индекс доходности и срок окупаемости. Недостатками этих показателей является неточная и неполная оценка эффектов от внедрения мероприятий. Документ [6] содержит устаревшую методику оценки социального ущерба населению в связи с ухудшением их здоровья и работоспособности под воздействием шума, не учитывает прочие эффекты, например, предотвращенный ущерб окружающей среде (в том числе в рамках низкоуглеродной и циркулярной экономики), дополнительную защиты дороги от климатических и метеопараметров, энергоэффективность, природные экосистемные услуги, дополнительное использование сооружений, «зелёное» финансирование и социальные аспекты проектов и т. п. [3], [7], [8].

Выбор оптимального шумозащитного мероприятия в отраслевых документах [9] и [10] осуществляется по наибольшей величине суммы баллов, присваиваемых по показателям: акустическая эффективность, конструктивная ширина видимой части (полоса отвода), отсутствие снегоотложений и необходимости дополнительного водоотведения, безопасность дорожного движения, удобство обслуживания, прочность и эстетичность, др. При этом не уточнён порядок присвоения и суммирования баллов

для комплекса шумозащитных мероприятий.

В данной работе представлен подход, рассматривающий оценку шумозащитного комплекса в тесной взаимосвязи его акустической и экономической эффективности, технологических требований и эксплуатационных качеств. За основные мероприятия указанного комплекса приняты экранирующие сооружения (ЭС): экраны, насыпи (валы), проложение дорог в выемке. Дополнительными являются шумозащитные насаждения, средства ближней защиты (шумозащитный асфальт), средства защиты объекта (шумозащитные остекление и шторы).

1 Критерии выбора

Анализируя и обобщая требования, предъявляемые к шумозащитным мероприятиям [3]-[6], [8]-[10] можно выделить следующие ключевые:

1) Акустическая эффективность. Её значение должно превышать требуемое снижение шума. Акустическая эффективность экранирующих сооружений определяется, главным образом, их высотой (влияют на эффективность длина, форма, материал, расположение), что позволяет иметь некий диапазон значений как эффективности (он определяется максимальным и минимальным фактически реализуемым), так и высоты (определяется исходя из диапазона возможного снижения шума). Для дополнительных мер акустическую эффективность можно полагать постоянной.

Для обеспечения относительно равного снижения шума требуется примерно равная длина ЭС, поэтому при сравнении разных сооружений, их акустическая эффективность (ΔL) зависит от высоты при учёте остальных параметров как определяющих вид (подвид) сооружения:

$$\Delta L_{\Phi, \text{м}}^{\text{эс}} = f(H), \quad (1)$$

где $\Phi, \text{м}$ – форма (уклон) и материал рассматриваемого сооружения.

Помимо расчётной эффективности существуют ряд акустических требований к индексу звукоизоляции, коэффициенту звукопоглощения, определяемые по НТД.

2) Технологии возведения определяют возможность устройства в имеющихся условиях (с учётом ширины полосы землеотвода, инженерных сооружений дороги и др.), удаление сооружений от полотна дороги, форму грунтовых сооружений, шаг по высоте и др.

3) Долговечность или срок службы мероприятий. Потеря акустических свойств и износ приводят к полной или частичной замене экранирующих сооружений (особенно экранов).

4) Экономический критерий должен учитывать затраты на шумозащиту на перспективу функционирования дороги. Актуален при выборе материала сооружений. Формируется по сметным нормативам строительства, эксплуатации, ликвидации.

5) Эксплуатационные требования влияют на выбор материалов экранов, дендрологический состав насаждений, грунты земельных сооружений (и соответственно, их форму), стоимость эксплуатации.

На обеспечение требований (1-5) оказывают влияние окружающие факторы:

- характеристики дороги: частотные характеристики и координаты источника шума; категория дороги, определяя удаление источника шума от ЭС;

- характеристики защищаемой застройки: расстояние до застройки, её высота и протяжённость (площадь фасадов влияет на стоимость шумозащитного остекления), аэродинамические нагрузки. Исходя из уровней шума дороги и назначения защищаемой застройки определяется требуемое снижение шума и, соответственно, минимальная

акустическая эффективность;

– климатические и погодные условия влияют на выбор материалов экранов, грунта земляных сооружений, состав насаждений; ветровые нагрузки на фундамент и высоту экранов;

– рыночные условия определяют линейку материалов, комплектующих, транспортные издержки и др.

Таким образом, указанные требования и окружающие факторы влияют на акустическую и экономическую эффективности экранирующих сооружений шумозащиты, создают ограничения их конструктивных параметров и ограничения по набору шумозащитных мероприятий. Целесообразен их учёт при выборе состава шумозащитного комплекса по схеме, представленной на рисунке 1.



Рисунок 1 – Критерии выбора экранирующих сооружений

Ряд характеристик учитываются дважды, например, инженерные сооружения (дренаж, ограждения) относятся и к дороге, и к технологиям; «агрессивность» среды – к дороге, климату, эксплуатации (они отмечены «*» на рисунке 1).

Влияние на акустическую и экономическую эффективность оказывается через конструктивные параметры экранирующего сооружения: форму, материал, высоту. При этом только экономический критерий не позволит проектировщику оценить, как изменения акустической эффективности отразится на стоимости проекта. Поэтому выбор должен осуществляться в их тесной взаимосвязи.

2 Связь между акустической и экономической эффективностью

Критериями экономической эффективности могут выступать чистый дисконтируемый доход (ЧДД), индекс доходности (ИД), дисконтируемый срок окупаемости (ДСО) при оценке эффектов от внедрения проекта, или дисконтируемые затраты (ДЗ), если эффекты не учитываются. Каждый показатель включает капитальные вложения и затраты при дальнейшей эксплуатации [2], [6], [7], [11], [12].

Сметные расчёты каждого из элементов затрат могут быть соотнесены по конструкционным параметрам шумозащитных сооружений и выражены через

капитальные вложения (K), применив коэффициенты замены (процент замены после истечения срока службы) и эксплуатации (процент K в год), например, как:

$$ДЗ = K + \sum_{t=1}^T \frac{k_э \cdot K}{(1+E)^t} + \sum \frac{k_з \cdot K}{(1+E)^{t_d}}, \quad (2)$$

где K – капитальные вложения в строительство шумозащитного мероприятия, руб.; T – рассматриваемый период эксплуатации транспортного объекта (25-30 лет); t_d – долговечность (срок службы) мероприятия, лет; E – норма дисконта, доля единицы в год (для социальных проектов 3-7%); $k_э$ и $k_з$ – коэффициенты эксплуатации и замены средств или сооружения, % или доля единицы.

Так оценка долговечности шумозащитного мероприятия возможна в рамках оценки его экономической эффективности.

При этом стоимость возведения экранирующих сооружений может быть представлена в зависимости от его высоты:

$$K_{ф,м}^{эс} = f(H), \quad (3)$$

где $ф, м$ – форма (уклон) и материал рассматриваемого сооружения.

Постоянные величины формулы формируются из сметных расчётов с учётом материальных затрат.

Тогда связь между акустической (ΔL) и экономической ($\mathcal{E}\mathcal{E}$) эффективностью экранирующих сооружений может быть выражена как:

$$\Delta L_{ф,м}^{эс} \rightarrow H \rightarrow K_{ф,м}^{эс} \rightarrow \mathcal{E}\mathcal{E}. \quad (4)$$

В частности, для конкретного типа экранирующего сооружения (с заданными проектировщиком формой и материалом) необходимая эффективность обеспечивается определяемой по формулам расчёта акустической эффективности высотой (H); для возведения экранирующего сооружения данного типа высотой H потребуются капитальные вложения K ; а критерий экономической эффективности (ЧДД, ИД, ДСО или ДЗ) определится по соответствующим формулам, например, формуле (2).

Стоимость (K) дополнительных мер постоянна, рассчитывается исходя из ширины и структуры посадки, ширины асфальтированной части, площади остекления. Их экономическая эффективность постоянна на рассматриваемый период (T).

Выбор шумозащитного комплекса следует осуществлять по оптимальному экономическому критерию при его акустической эффективности не ниже требуемого снижения шума.

3 Алгоритм выбора шумозащитного комплекса

Экономическая эффективность шумозащитного комплекса складывается из эффективностей входящих в его состав сооружений и дополнительных средств защиты. Выбор экономически оптимального шумозащитного комплекса осуществляется по наибольшему значению ЧДД, ИД, ДСО или наименьшему значению ДЗ.

С учётом того, что для обеспечения допустимой акустической нагрузки к ограниченному набору вариантов средств с постоянной эффективностью (насаждения, остекление, средства ближней защиты) представляется возможным подобрать большое количество экранирующих сооружений разной высоты, форм и материалов, выбор оптимального варианта из более сотни подходящих целесообразно производить

с использованием пакетов расчётных программ и технологий информационного моделирования с представлением промежуточных результатов проектировщику.

Возможный алгоритм выбора включает несколько этапов [12].

1. Сбор данных, их первичный анализ. На первом этапе осуществляется сбор (ввод) характеристик источника шума, защищаемой застройки, климатических и рыночных факторов, технологических и эксплуатационных данных, сметных нормативов или расчётов, санитарных норм. Далее следует расчёт требуемого снижения шума. Результатами аналитической обработки полученной информации является перечень возможных к применению экранирующих сооружений (с ограничениями их конструктивных параметров) и дополнительных мер защиты.

2. Обработка данных и расчёт. На втором этапе формируются функции акустической и экономической эффективности экранирующих сооружений. Каждая имеет постоянные, значения которых определяются в зависимости от материала и формы сооружения расчётным методом. Переменной указанных функций выступает высота конструкции, минимально необходимое значение которой определяется на следующем этапе с учётом ограничений.

3. Поиск решений и формирование результатов. На этом этапе подбираются варианты шумозащитных комплексов, обеспечивающих требуемую акустическую безопасность, и оценивается их экономическая эффективность. Для исключения полного перебора вариантов экранирующих сооружений и дополнительных мер защиты поиск решений целесообразно осуществлять в следующей последовательности:

3.1 выбираются оптимальные по экономическому критерию дополнительные меры защиты;

3.2 формируется экономически оптимальная последовательность их комбинаций, в порядке уменьшения акустической эффективности (если какая-то мера не используется, её эффективность принимается равной нулю). Оптимальность достигается за счёт исключения вариантов (комбинаций), экономический критерий которых в рассматриваемой последовательности оказывается больше предыдущего (то есть дороже при меньшей акустической эффективности);

3.3 выбираются оптимальные по экономическому критерию однотипные экранирующие сооружения, например, прямые звукопоглощающие экраны из разных материалов одной акустической эффективности; отдельно подбираются типы экранов, применимые к комбинированию с другими сооружениями (насыпь, выемка);

3.4 для каждого варианта комбинации дополнительных мер (п.3.2) рассчитывается акустическая эффективность (для совместного снижения шума до норм) и, соответственно, минимально необходимая высота экранирующего сооружения (выбранного в п.3.3), её обеспечивающая. Если по технологии возведения данная высота невозможна, принимается ближайшая бо́льшая возможная высота.

Для комбинаций насыпь-экран и выемка-экран – к каждому экрану (из п.3.3) определённого набора высот (выбранному исходя из технологического шага по высоте из заданного диапазона высот) подбирается минимально необходимая высота насыпи или выемки.

Высоты экранирующих сооружений (в т. ч. комбинированных) подбираются исходя из условия обеспечения требуемого снижения шума всем комплексом:

$$(\Delta L_{\text{ДМ1}} + \Delta L_{\text{ДМ2}} + \Delta L_{\text{ДМ3}}) + \Delta L_{\text{Ф,м}}^{\text{эс}}(H) \geq \Delta L_{\text{тр}}. \quad (5)$$

Результатом этапа является формирование матрицы экоэффективности вариантов шумозащитных комплексов. Её представление возможно в виде таблицы, боковой заголовок которой содержит оптимальную последовательность дополнительных мер защиты и их комбинаций в порядке, описанном в п.3.2, а верхний заголовок – выбранные в п.3.3 экранирующие сооружения. В ячейках таблицы приводятся результаты расчёта значений экономической эффективности комплексов в составе дополнительных мер и экранирующих сооружений, оказавшихся на пересечении соответствующих строки и столбца. Дополнительно ячейка может включать значения единовременных капитальных вложений в строительство указанного комплекса и высот экранирующих сооружений в его составе. Оптимальным считается комплекс, ячейка с расчётом экономической эффективности которого имеет оптимальное значение:

$$(\mathcal{E}\mathcal{E}_{\text{ДМ}_1} + \mathcal{E}\mathcal{E}_{\text{ДМ}_2} + \mathcal{E}\mathcal{E}_{\text{ДМ}_3}) + \Delta\mathcal{E}\mathcal{E}_{\text{ф,м}}^{\text{эс}}(H) \rightarrow \text{opt}. \quad (6)$$

Матрица вариантов может быть представлена в виде таблицы 1.

Ячейки могут оставаться пустыми, если определённая высота выходит за пределы ограничений.

Таблица 1 – Матрица экоэффективности шумозащитных комплексов

Дополнительные меры защиты (ДМ)	Экономическая эффективность шумозащитного комплекса (ЭЭ) с экранирующими сооружениями (ЭС)				
	ЭС ₁	ЭС ₂	ЭС ₃	...	ЭС _n
1. ДМ ₁ -ДМ ₂ -ДМ ₃	ЭЭ ₁₁ (H)	ЭЭ ₁₂ (H)	ЭЭ ₁₃ (H)		ЭЭ _{1n} (H)
2. ДМ ₁ -ДМ ₂ -0	ЭЭ ₂₁ (H)	ЭЭ ₂₂ (H)	ЭЭ ₂₃ (H)		ЭЭ _{2n} (H)
3. ДМ ₁ -0-ДМ ₃	ЭЭ ₃₁ (H)	ЭЭ ₃₂ (H)	ЭЭ ₃₃ (H)		ЭЭ _{3n} (H)
4. ДМ ₁ -0-0	ЭЭ ₄₁ (H)	ЭЭ ₄₂ (H)	ЭЭ ₄₃ (H)		ЭЭ _{4n} (H)
5. 0-ДМ ₂ -ДМ ₃	ЭЭ ₅₁ (H)	ЭЭ ₅₂ (H)	ЭЭ ₅₃ (H)		ЭЭ _{5n} (H)
6. 0-ДМ ₂ -0	ЭЭ ₆₁ (H)	ЭЭ ₆₂ (H)	ЭЭ ₆₃ (H)		ЭЭ _{6n} (H)

Ряд дополнительных мер также может варьироваться. Например, в качестве ДМ₃ может использоваться либо накладка на рельс, либо шлифование; в качестве ДМ₂ – разные насаждения, ДМ₁ – остекление, шторы или остекление со шторами.

4. Принятие решения. Окончательный выбор проектировщиком может быть принят с учётом дополнительных требований, например, архитектурно-эстетических. Более наглядным его сделает визуализация - представление 3D модели на карте местности.

Предложенный алгоритм выбора представлен на рисунке 2.

Стоит отметить, что для разных значений требуемого снижения (акустической эффективности) оптимальным может быть отличный шумозащитный комплекс, т.к. изменение высоты разных экранирующих сооружений не одинаково влияет на его экономическую эффективность, поэтому в ходе проектирования обязателен учёт акустической нагрузки в перспективе. Также, комплексы шумозащиты равной акустической эффективности будут включать разные высоты сооружений: в большинстве случаев, высота экрана в их составе будет ниже высоты насыпи.

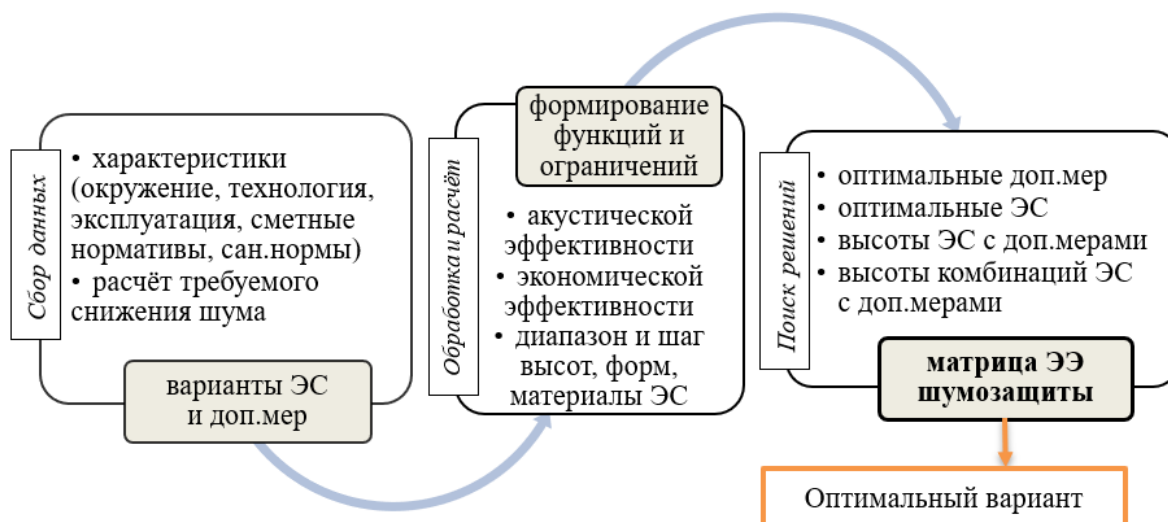


Рисунок 2 – Основные этапы выбора шумозащитного комплекса, оптимального по экономическому критерию

Заключение

Действующие нормативные документы не позволяют достоверно оценить результаты внедряемых проектов по обеспечению акустической безопасности транспорта. Разработанная в исследовании методика выбора оптимального шумозащитного комплекса при проектировании и реконструкции дорог позволяет точнее спрогнозировать затраты на реализацию шумозащиты, а также сократить время на выбор оптимального варианта.

В основе выбора – взаимосвязь акустической и экономической эффективности шумозащитного комплекса, а также учёт технологических и эксплуатационных требований, влияющих на конструктивные параметры входящих в его состав сооружений, на долгосрочную перспективу. Методика выбора оптимального варианта включает: выбор оптимальных дополнительных мер защиты и их оптимальной последовательности – расчёт высоты оптимального экранирующего сооружения для каждого варианта последовательности дополнительных мер, обеспечивающей требуемое снижение шума комплексом – расчёт экономической эффективности полученных шумозащитных комплексов – выбор комплекса с оптимальным значением экономической эффективности.

Вариант шумозащитного комплекса выбирается для конкретного снижения шума, так как зависимость его акустической и экономической эффективности не пропорциональна.

Реализация предлагаемой методики возможна после внедрения в нормативно-технические акты последних разработок в области определения акустической эффективности экранирующих сооружений [12], и будет способствовать разработке пакетов прикладных расчётных программ и цифровых технологий моделирования шумозащиты.

Дальнейшие исследования в этой области следует вести по направлению повышения экономической эффективности шумозащитных мероприятий, в том числе в рамках стратегии и с использованием инструментов циклической экономики, предполагающей оптимизацию использования ресурсов, минимизацию количества отходов и продление сроков службы материалов. Помимо задачи снижения шума это решит и экологические проблемы регионов.

Список использованных источников

1. Тюрина, Н. В. Снижение шума автодорог как приоритет экологической политики Российской Федерации / Н. В. Тюрина // Мир дорог. – 2022. – N 145. – С. 54-55.
2. Кривко, Е. В. Методические основы проектирования оптимального мероприятия по защите населенного пункта от транспортного шума / Е. В. Кривко // Вестник евразийской науки. – 2021. – Т. 13, N 1. – С. 32.
3. Parker, G. Health and whole life cost benefits of highways noise barriers / G. Parker // INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings. – 2023. – Vol. 265, No. 1. – P. 6560-6565. – DOI 10.3397/in_2022_0988.
4. СП 338.1325800.2018. Свод правил. Защита от шума для высокоскоростных железнодорожных линий. Правила проектирования и строительства: утверждён приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 5 февраля 2018 г. N 69/пр и введен 6 августа 2018 г. – Текст: электронный. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/557350548> (дата обращения 25.06.2025)
5. СП 276.1325800.2016. Свод правил. Здания и территории. Правила проектирования защиты от шума транспортных потоков. – М.: Минстрой России, 2016. – 146 с.
6. ОДМ 218.2.013-2011. Отраслевой дорожный методический документ. Методические рекомендации по защите от транспортного шума территорий, прилегающих к автомобильным дорогам. – М.: - Информавтодор, 2011. – 123 с.
7. Борцова, С. С. Экономически оптимальное решение обеспечения акустической безопасности региональной транспортной инфраструктуры / С. С. Борцова, Д. А. Куклин // Актуальные вопросы современной экономики: Материалы VI Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург - Донецк - Витебск - Бишкек, 23–24 апреля 2025 года. – Санкт-Петербург: Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, 2025. – С. 10-16.
8. Cavallaro, F. Are transport policies and economic appraisal aligned in evaluating road externalities? / F. Cavallaro, S. Nocera // Transportation Research Part D: Transport and Environment. – 2022. – Vol. 106. – P. 103266. – DOI 10.1016/j.trd.2022.103266.
9. ОДМ 218.8.011-2018. Отраслевой дорожный методический документ. Методические рекомендации по определению характеристик и выбору шумозащитных конструкций автомобильных дорог. – М.: РОСАВТОДОР, 2020. – 83 с.
10. Методические указания по выбору шумозащитных мероприятий при выявлении сверхнормативного акустического воздействия от объектов железнодорожного транспорта: утверждены Распоряжением ОАО «РЖД» N 2638/р от 12.10.2022. – Текст: электронный. – URL: http://e-ecolog.ru/docs/Tn6bbpnxyoIp5Dbj67VqH?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.bing.com%2F (дата обращения 25.06.2025)
11. Методика выбора шумозащитных мероприятий в градостроительном проектировании / О. А. Ганжа, Н. А. Куткая, В. В. Прокопенко, О. А. Растяпина // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2020. – N 3(80). – С. 122-133.
12. Борцова, С.С. Методика выбора и оптимизации шумозащитного комплекса при проектировании автомобильных и железных дорог: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Борцова Светлана Сергеевна, 2024. – 222 с.

References

1. Tyurina, N. V. Reducing the noise of highways as a priority of the environmental

policy of the Russian Federation / N. V. Tyurina // The world of roads. – 2022. – N 145. – pp. 54-55.

2. Krivko, E. V. Methodological foundations for designing optimal measures to protect a settlement from traffic noise / E. V. Krivko // Bulletin of Eurasian Science. – 2021. – Vol. 13, N 1. – p. 32.

3. Parker, G. Health and whole life cost benefits of highways noise barriers / G. Parker // INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings. – 2023. – Vol. 265, No. 1. – P. 6560-6565. – DOI 10.3397/in_2022_0988.

4. SP 338.1325800.2018. A set of rules. Noise protection for high-speed railway lines. Rules of Design and Construction: approved by Order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation N 69/pr dated February 5, 2018 and introduced on August 6, 2018 – Text: electronic. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/557350548> (date of reference 25.06.2025)

5. SP 276.1325800.2016. A set of rules. Buildings and territories. Rules for designing protection against traffic noise. – Moscow: Ministry of Construction of Russia, 2016. – 146 p.

6. ODM 218.2.013-2011. Industry road guidance document. Methodological recommendations for the protection of territories adjacent to highways from traffic noise. Moscow: Informavtodor Publ., 2011. – 123 p.

7. Bortsova, S. S. Economically optimal solution for ensuring acoustic safety of regional transport infrastructure / S. S. Bortsova, D. A. Kuklin // Current issues of modern economics: Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference, St. Petersburg - Donetsk - Vitebsk - Bishkek, April 23-24, 2025. Saint Petersburg: D.F. Ustinov Baltic State Technical University «VOENMEH», 2025, - P. 10-16.

8. Cavallaro, F. Are transport policies and economic appraisal aligned in evaluating road externalities? / F. Cavallaro, S. Nocera // Transportation Research Part D: Transport and Environment. – 2022. – Vol. 106. – P. 103266. – DOI 10.1016/j.trd.2022.103266.

9. ODM 218.8.011-2018. Industry road guidance document. Methodological recommendations for determining the characteristics and selection of noise-proof structures of highways. – Moscow: ROSAVTODOR, 2020. – 83 p.

10. Guidelines for the selection of noise protection measures when detecting excessive acoustic effects from railway transport facilities: approved by Order of JSC Russian Railways N 2638/r dated 12.10.2022. – Text: electronic. – URL: http://e-ecolog.ru/docs/Tn6bbpnxyoIp5Dbj67VqH?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.bing.com%2F (date of reference 25.06.2025)

11. O. A. Ganzha, N. A. Kutkaya, V. V. Prokopenko, O. A. Rastiapina, Methods of selecting noise protection measures in urban planning // Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture. – 2020. – № 3(80). – P. 122-133.

12. Bortsova, S.S. Methods of selection and optimization of noise protection systems in the design of roads and railways: dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences / Bortsova Svetlana Sergeevna, 2024. – 222 p.