

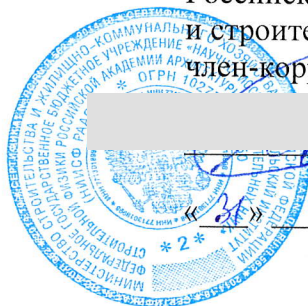


федеральное государственное бюджетное учреждение  
«Научно-исследовательский институт строительной физики  
Российской академии архитектуры и строительных наук»  
(НИИСФ РААСН)

Исх. от 31.10.2024 № 1241-2024/50

УТВЕРЖДАЮ

Директор  
ФГБУ «Научно-исследовательский  
институт строительной физики  
Российской академии архитектуры  
и строительных наук»  
член-корр. РААСН, д.т.н., доцент,



И.Л. Шубин

«31» 10 2024 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ  
«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ СТРОИТЕЛЬНОЙ ФИЗИКИ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ АРХИТЕКТУРЫ И СТРОИТЕЛЬНЫХ НАУК»  
(НИИСФ РААСН)

на диссертационную работу Борцовой Светланы Сергеевны  
на тему «Методика выбора и оптимизации шумозащитного комплекса  
при проектировании автомобильных и железных дорог»,  
представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук  
по специальности 1.3.7 – Акустика

Актуальность темы исследования

Проблема защиты от шума в городах и других населённых пунктах в числе наиболее острых экологических проблем. Необходимо применение различных шумозащитных средств и их комбинаций, которые должны проектироваться на основе точной оценки их акустической эффективности и совместного действия, с учётом экономической эффективности.

В связи с этим совершенствование акустического расчета эффективности земляных сооружений с учетом их конструктивных параметров, звукопоглощающих свойств и реального размещения по отношению к застройке, является актуальным направлением строительной акустики. Автор диссертационной работы предлагает метод оценки

акустической эффективности насыпей и выемок с использованием преобразования звуковых полей с учётом явлений отражения, поглощения, дифракции и дивергенции звука, а также разработала соответствующие математические модели. Предложенный Борцовой С.С. новый методический подход основан на экспериментальных и теоретических исследованиях, выполненных автором, что повышает достоверность и обоснованность полученных результатов.

Предложенная Борцовой С.С. методика оценки экономической эффективности шумозащитных конструкций позволит более точно прогнозировать затраты на снижение шума на долгосрочную перспективу, с меньшими трудозатратами и сроками проектирования. А методика оптимизации шумозащитного комплекса содержит новый подход к выбору и комбинированию средств защиты с учётом характеристик застройки (этажности, удаления от дороги и др.), создаёт условия для обоснования наиболее рациональных способов защиты городской территории от транспортного шума с наименьшими затратами.

Таким образом, актуальность и практическая ценность диссертационной работы Борцовой С.С. не вызывает сомнений, тема диссертации по своему содержанию отвечает потребностям современной градостроительной практики и задачам оздоровления окружающей среды городского населения.

### **Структура и содержание диссертации**

Во введении отражены актуальность темы исследования, цели и задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы исследования, положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробация результатов.

В первой главе дан обзор состояния проблемы, показаны направления её решения. Описаны мероприятия снижения шума в источнике образования (средства ближней защиты) и защищаемых зданиях. Обоснованы значения их акустической эффективности для целей дальнейшей оптимизации шумозащитного комплекса. Рассмотрены методы и методики оценки акустической эффективности шумозащитных конструкций: шумозащитных экранов, насыпей и выемок, а также шумозащитных зеленых насаждений. Установлены основные конструктивные параметры, влияющие на их акустическую эффективность. Выявлены противоречия в акустических расчётах эффективности земляных сооружений по действующим нормативным документам, которые не позволяют достоверно оценивать снижение транспортного шума и сравнивать конструкции при проектировании шумозащиты, приведены противоречивые данные экспериментальных исследований акустической эффективности насыпей и выемок. Обоснована необходимость разработки метода оценки

акустической эффективности насыпей и выемок, а также методики экспериментальных исследований для оценки его точности.

Также проанализированы существующие методы оценки экономической эффективности с целью их дальнейшего применения в отношении шумозащитных мероприятий. Сделан вывод о необходимости разработки отсутствующей в действующих нормативно-технических документах методики выбора и оптимизации шумозащитного комплекса по критерию экономической эффективности.

На основе проведённого анализа сформулированы основные направления и задачи диссертационной работы, выбраны методы исследований (теоретический анализ, методы экспериментальных исследований, методы физико-математического моделирования распространения звука в присутствии земляных экранирующих сооружений, оптимизационное моделирование).

Во **второй главе** рассмотрены теоретические основы разработанного автором метода расчёта акустической эффективности искусственных земляных сооружений (насыпей, выемок, др.). Разработаны схемы преобразования звуковых полей, представлена физическая картина преобразований с помощью переходов от акустической мощности к интенсивности звука, приняты допущения. В предлагаемом методе источник шума – транспортный поток – рассматривается как линейный ненаправленный источник; основание земляных сооружений (со стороны источника шума) и его рёбра по принципу Гюйгенса как вторичные линейные излучатели шума; отражение или частичное поглощение учитывается методом мнимых источников; учтена дифракция, в т. ч. «двойная» при распространении шума за насыпь, и дивергенция звука. В разработанных автором формулах акустической эффективности учтены параметры земляных сооружений: высота (глубина), форма, звукопоглощающие свойства поверхностей; а также пространственное расположение по отношению к дороге и застройке.

Помимо разработанного нового метода оценки акустической эффективности земляных сооружений, автор модернизировал формулы расчёта акустической эффективности насыпи и выемки, имеющиеся в нормативных документах (ГОСТ 33325-2015 и СП 276.1325800.2016), уточнив расчётные схемы распространения звука и влияние звукопоглощающих свойств поверхностей сооружения.

Описаны методические основы проведения экспериментальных исследований. Представлены схемы и условия измерений для определения акустической эффективности земляных сооружений и показателя дифракции. Методики испытаний, обработки и представления данных разработаны на основании и(или) с учетом ГОСТ 33328, ГОСТ 5194, СП 51.13330.2011, ГОСТ 23337, ГОСТ 20444, CEN/TS 1793-4:2003. Приборы измерений соответствовали первому классу точности по ГОСТ 17187, ГОСТ 17168. Приводится большое

количество испытаний, позволивших оценить акустическую эффективность земляных сооружений на основе экспериментальных измерений. Характер полученных зависимостей – постоянное увеличение эффективности с ростом частоты в пределах 1-3 дБ на октаву для выемки, 2-5 дБ для насыпи в диапазоне 63-8000 Гц; уменьшающийся рост акустической эффективности с увеличением высоты сооружения.

Полученные на основе измерений акустические эффективности земляных сооружений, помимо важного практического значения, позволили оценить точность разработанного Борцовой С.С. метода оценки акустической эффективности. Верификация составила 3 дБ во всем диапазоне частот, 1 дБА.

В **третьей главе** представлена методика оценки экономической эффективности шумозащитных мероприятий (чистой приведённой стоимости, ЧПС), преобразованная автором для более полного и точного учёта затрат на шумозащиту и долговечности конструкций. Её уникальность заключается в формировании на основе сметных расчётов через конструктивные параметры шумозащитных мероприятий для связи с акустической эффективностью шумозащиты. На основании реальных смет, представленных в приложениях, показаны расчёты экономической эффективности различных типов насыпей, выемок, экранов, а также шумозащитных насаждений по этой методике.

Сформулирована задача оптимизации шумозащитного комплекса, целевой функцией которой является минимизация его ЧПС при условии обеспечения требуемого снижения шума. Основными мероприятиями шумозащитного комплекса выбраны шумозащитные конструкции (экраны, насыпи, выемки разных типов и их комбинации), акустическая и экономическая эффективность которых определяется высотой конструкций. В качестве дополнительных используются средства ближней защиты (пористый асфальт, шлифование или вибродемпфирующие накладки для рельс), шумозащитные насаждения и остекление, их эффективности постоянны. Решение задачи – набор переменных: высоты шумозащитных конструкций (их комбинаций) рассматриваемых типов в совокупности с дополнительными мерами, обеспечивающие выполнение условий задачи.

В **четвёртой главе** разработана методика выбора оптимального шумозащитного комплекса по экономическому критерию. Представлен алгоритм выбора с учётом: характеристик жилой застройки и возможностями устройства в её условиях, требуемого снижения шума, конструктивных параметров шумозащитных конструкций (материал, диапазоны и шаг высот, формы), определяемых технологией возведения и условиями эксплуатации. Оптимизация производится по описанной в третьей главе модели методами динамического программирования и целочисленного программирования.

На основе разработанной методики для конкретных ситуаций шумового режима застройки показано формирование матрицы решений задачи оптимизации, содержащей варианты шумозащитных комплексов (включающие оптимальные варианты дополнительных мер защиты или их комбинации в сочетании с минимально возможными высотами выбранных оптимальных типов шумозащитных конструкций или их комбинаций) и выбор варианта с наименьшим значением чистой приведённой стоимости. Рекомендованы оптимальные средства защиты для нормализации акустического воздействия автомобильных и железных дорог в зависимости от этажности застройки и требуемого снижения шума, в частности, для защиты малоэтажной застройки оптимальны земляные сооружения. Графически отражены связи между акустической и экономической эффективностями шумозащитных мероприятий.

Также приведена методика выбора варианта решения проблемы повышенного уровня шума на территории застройки, прилегающей к объектам железнодорожного транспорта, отражающая основные положения диссертационного исследования, и включающая, помимо экономической, балльную оценку широкого перечня технологических и эксплуатационных параметров. Дан пример выбора шумозащитного мероприятия по методике.

В **заключении** диссертации сформулированы обоснованные выводы и научные результаты, полученные в ходе исследования, предложены рекомендации по их использованию. Выводы автора полностью отражают представленные результаты и соответствуют задачам диссертационного исследования. Представленное диссертационное исследование характеризуется последовательным логичным изложением материалов и его аргументированностью.

**Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций,** представленных в диссертации Борцовой С.С. Научные положения, выводы и рекомендации, представленные в работе, получены на основе выполненных автором комплексных теоретических и экспериментальных исследований, основываясь на положения статистической, геометрической и волновой теорий акустики. Все положения, выводы и рекомендации обоснованы теоретически и подтверждены экспериментально. Достоверность подтверждается сходимостью результатов расчётов на основе предложенного метода и преобразованных методик оценки акустической эффективности земляных сооружений с данными выполненных экспериментальных исследований. Обоснованность и достоверность подтверждается также результатами апробации при разработке Методических указаний по выбору шумозащитных мероприятий при выявлении сверхнормативного акустического воздействия от объектов железнодорожного транспорта (по заказу ОАО «РЖД»), применении

в акустических расчётах при проектировании объектов транспортной инфраструктуры ООО «ТранспроектИнжиниринг».

Корректность экспериментальных результатов подтверждается использованием поверенной прецизионной акустической аппаратуры, прошедшей поверку, а также использованием современных методик акустических измерений и обработки полученной информации, включающих методы оценки результатов и погрешности измерений.

**Научная новизна диссертационного исследования** заключается в следующем:

- на основе изучения закономерностей распространения шума разработан научно-обоснованный инженерный метод для оценки акустической эффективности искусственных земляных сооружений, с учётом их высоты, формы, звукопоглощающих (отражающих) свойств, дифракции на кромках сооружений, расположения в пространстве;
- разработана оригинальная методика оценки экономической эффективности шумозащитных конструкций во взаимосвязи с оценкой их акустической эффективности;
- разработаны новые научные и методологические принципы выбора и оптимизации шумозащитных комплексов, применяемых для снижения акустического загрязнения автомобильных и железных дорог в черте жилой застройки.

**Значимость полученных результатов для развития соответствующей отрасли науки и практики.** Результаты исследований, полученные Борцовой С.С. в диссертации, имеют важное теоретическое и практическое значение. Они позволили уточнить и расширить представления о механизмах формирования звукового поля перед защищаемыми земляными сооружениями зданиями с учётом влияния дифракции, экранирования, звукопоглощения и звукоотражения; создать новые математические модели расчёта акустической эффективности насыпей и выемок для защиты жилой застройки; получить формулы расчёта акустической эффективности земляных сооружений с учётом их конструктивных параметров; получить экспериментальные зависимости акустической эффективности насыпи и выемки от их основного параметра – высоты.

Значимость работы для науки и практики заключается также в разработке новых принципов выбора оптимального по экономическому критерию шумозащитного комплекса с учётом технологических и эксплуатационных требований к шумозащитным мероприятиям. Методика такого выбора необходима при разработке технико-экономического обоснования проектов строительства и(или) реконструкции дорог и генеральных планов развития городов на различные перспективные сроки, а также создаёт предпосылки для рационального выбора шумозащитных мероприятий. При этом методика формирования критерия экономической

эффективности на основе смет позволяет сократить сроки проектирования и более точно оценить затраты на борьбу с негативным влиянием на население транспортного шума.

**Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы.** Прикладное значение диссертационной работы заключается в том, что полученные теоретические выводы, методические разработки и практические результаты исследования дают возможность проектной организации сделать наиболее обоснованный выбор рациональных способов защиты от транспортного шума. На основании теоретически обоснованных и экспериментально подтверждённых данных могут быть внесены поправки в действующие нормативно-технические документы, регламентирующие оценку акустической эффективности насыпей и выемок, а также могут быть разработаны методические указания по выбору шумозащитных мероприятий при выявлении сверхнормативного акустического воздействия от объектов автодорожного, авиационного транспорта и промышленных объектов. Кроме того, результаты диссертационной работы могут быть внедрены в компьютерные программы по расчёту шумового режима территории застройки с экранирующими земляными сооружениями, а также выбору экономически эффективной шумозащиты.

Результаты диссертационного исследования могут быть также использованы учебном процессе изучения студентами дисциплин, в которых рассматриваются теоретические и практические вопросы расчёта и проектирования транспортных дорог и защиты жилой застройки от их шума.

**Основные положения и результаты диссертационной работы** Борцовой С.С. достаточно полной отражены в публикациях автора, докладывались и обсуждались на международных и всероссийских научно-практических конференциях. По теме диссертации автором опубликовано 18 научных статей, 10 из которых в списке журналов, рекомендованных ВАК, одна в журнале, входящем в базу данных Scopus, 6 – в материалах научно-практических конференций и школы-семинара с международным участием.

**Замечания.** По содержанию и представленным результатам диссертационного исследования, выполненного Борцовой С.С., можно сделать следующие замечания:

1. На стр. 46 диссертации понятие «геометрической дивергенции звука» является некорректным, так как само слово дивергенция (от лат. расхождение, отклонение) означает геометрическое расширение.

2. Среди положений разработанного метода (стр. 46, рис. 2.1 стр. 48): «звук от источника шума распространяется над опорной поверхностью, а затем при наличии препятствия поднимается вверх и, доходя до свободного ребра земляного сооружения, дифрагирует через него». Но распространение звуковых волн от источника шума, согласно принципу Гюйгенса, происходит во всё свободное пространство, а значит часть звука попадает

к свободному ребру сооружения по более короткой и простой траектории: источник шума – свободное ребро. Наличие такой составляющей в предложенном подходе не учитывается, а снижение точности предлагаемых расчётов из-за некорректности этого допущения не приводится.

3. В предложенных автором формулах для расчёта акустической эффективности выемки (2.11) на стр. 51 и акустической эффективности насыпи (2.16) на стр. 53 используется коэффициент дифракции ( $\beta_{\text{дифр}}$ ), который предложено заменять показателем дифракции (ПД) на стр. 50. Автор показала правомерность такой замены, но не показала насколько эта замена повлияла на точность выполняемых по этой формуле расчётов.

4. Чрезмерная перегруженность текста диссертации принятыми автором сокращениями затрудняет понимание изложенного материала.

Указанные замечания не оказывают существенного влияния на общую положительную оценку диссертации и не снижают ее научную и практическую ценность.

**Заключение.** Содержание кандидатской диссертации и автореферата Борцовой С.С. позволяет сделать вывод о том, что диссертационная работа Борцовой С.С. на тему «Методика выбора и оптимизации шумозащитного комплекса при проектировании автомобильных и железных дорог» является завершённой научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно на высоком научном уровне на актуальную тему, обладающей научной новизной, теоретической и практической ценностью, содержит решение проблемы обеспечения акустического комфорта на территории городской застройки путём более точной оценки акустической эффективности земляных сооружений и разработки новаторской методики выбора экономически оптимального шумозащитного комплекса при проектировании и реконструкции автомобильных и железных дорог, что в конечном итоге имеет важное социально-экономическое значение для развития транспортной структуры городов. Научные положения, выводы и рекомендации, содержащиеся в диссертации обоснованы и достоверны, имеют важное значение для развития технических наук.

Диссертационная работа обладает внутренним единством, написана технически грамотным языком, стиль изложения доказательный. Диссертационная работа содержит достаточное количество исходных данных, имеет пояснения, рисунки, графики, примеры, подробные расчёты. В конце каждой главы работы имеются выводы. Автореферат полностью отражает содержание диссертации, основных её положений.

Положения диссертации соответствуют паспорту научной специальности 1.3.7 - «Акустика» в части пункта: 6. Акустика газовых сред, аэроакустика, приём и обработка звуковых сигналов в воздухе, мониторинг источников акустического шума в атмосфере, акустическая экология.

Диссертационная работа на тему «Методика выбора и оптимизации шумозащитного комплекса при проектировании автомобильных и железных дорог» полностью соответствует всем критериям, установленным Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842 (ред. от 16.10.2024) "О порядке присуждения ученых степеней", (вместе с "Положением о присуждении ученых степеней") для диссертаций, представленных на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Борцова Светлана Сергеевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.7 – «Акустика».

Диссертация, автореферат и отзыв на диссертацию Борцовой С.С. рассмотрены и одобрены на заседании научно-технического совета ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук»;

Главный научный сотрудник  
лаборатории «Защита зданий от вибрации и структурного шума»

ФГБУ «Научно-исследовательский институт  
строительной физики Российской академии архитектуры  
и строительных наук»

доктор технических наук, профессор  
специальность 01.04.06

E-mail: [3342488@mail.ru](mailto:3342488@mail.ru).

Тел.: +7(916)446-41-72

Илья Евсеевич Цукерников

Наименование организации:

федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук» (НИИСФ РААСН). Адрес: 127238, Россия, г. Москва, Локомотивный проезд, 21

E-mail: [niisf@niisf.ru](mailto:niisf@niisf.ru)

Тел.: +7(495)4824076