

*На правах рукописи*

ПАВЛОВА УЛЬЯНА ЮРЬЕВНА

**СНИЖЕНИЕ ШУМА ОТ АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ В  
ГОРОДСКОЙ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ЭКРАНИРУЮЩИХ СВОЙСТВ СООРУЖЕНИЙ ОСТАНОВОЧНЫХ  
ПУНКТОВ**

05.23.19 (2.1.10) – Экологическая безопасность строительства и городского  
хозяйства

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Воронеж – 2021

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

**Научный руководитель:** доктор технических наук, профессор,  
**Асминин Виктор Федорович**

**Официальные оппоненты:** **Иванов Николай Игоревич**  
доктор технических наук, профессор  
ФГБОУ ВО «Балтийский государственный  
технический университет «ВОЕНМЕХ» имени  
Д.Ф. Устинова», профессор кафедры  
«Экология и производственная безопасность»

**Васильева Виктория Владимировна**  
кандидат технических наук, доцент  
ФГБОУ ВО «Орловский государственный  
университет им. И.С. Тургенева», доцент  
кафедры «Сервис и ремонт машин»

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Донской государственный  
технический университет» (г. Ростов-на-Дону)

Защита диссертации состоится «26» марта 2022 в 13.00 часов на заседании объединенного диссертационного совета 99.2.026.03 (Д 999.094.03), созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Юго-Западный государственный университет», федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева», федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тульский государственный университет», по адресу: 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета и на официальном сайте ФГБОУ ВО «Юго-западный государственный университет»: <http://www.swsu.ru>.

Отзывы на автореферат направлять в диссертационный совет по адресу: 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94 – сектор диссертационных советов ФГБОУ ВО «Юго-западный государственный университет».

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г.

Ученый секретарь диссертационного  
совета, к.т.н., доцент

Колесников  
Георгиевич

Александр

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования.** Негативное влияние на экологическую безопасность городской среды, среди прочих, оказывает акустическое загрязнение, создаваемое все возрастающими автотранспортными потоками. Транспортный комплекс является важной системой жизнеобеспечения города. Современное развитие транспортной инфраструктуры способствует увеличению площади территорий городской среды, подверженных негативному шумовому загрязнению. В населенных пунктах основным источником акустического загрязнения является автомобильный транспорт, его долю во внешнем шумовом фоне ученые определили, равной 80 %.

Вредное влияние шума на организм человека общепризнано, оно проявляется в широком диапазоне воздействий: от субъективных психологических раздражений до объективных патологических и функциональных изменений органов слуха, центральной нервной и сердечно-сосудистой систем. Статья 42 Конституции РФ провозглашает право каждого на благоприятную окружающую среду, поэтому проблема возрастающего уровня акустического загрязнения в городах и других населенных пунктах актуальна. Ее решению и в нашей стране, и за рубежом посвящено большое количество исследований, научных работ и публикаций.

Проведенные исследования показали, что на уровень акустического загрязнения городской среды, создаваемого автотранспортным потоком, влияет большое количество разнообразных факторов: от единичного транспортного средства, находящегося на проезжей части автомобильной дороги, до состояния окружающей его среды в целом. Таким образом, городская среда, подверженная воздействию автотранспортного шума, может быть представлена как система «автомобильная дорога – жилая застройка», в которой автотранспортный поток рассматривается в качестве источника акустического загрязнения, объектом защиты выступает жилая застройка (жилые кварталы). Препятствия на пути распространения шума могут быть разнообразными: состояние дорожного покрытия, характеристики воздушной среды, наличие зеленых насаждений, окружающие строения различного назначения.

В городах с населением от 300 тыс. до 1 млн. человек жилая застройка наиболее интенсивно проводилась в 50-70 гг. XX в. и в настоящее время она определяет облик городов и его улично-дорожную сеть. Характерные особенности застройки того времени – это близкое расположение жилых зданий к городским автомобильным дорогам, отсутствие прогнозирования роста интенсивности транспортных потоков в будущем, а также возведение жилых домов небольшой этажности (2-х, 3-х, 5-ти, позднее – 9-ти этажных). Вся последующая жилая застройка, проводимая в более поздние годы, как правило, представляет собой жилые дома повышенной этажности и располагается за имеющимися «фасадными» зданиями, прилегающими к автомобильной дороге.

В большинстве проектных решений городов такие особенности застройки стали одной из причин, влияющих на акустическое загрязнение жилой застройки, прилегающей к автомобильной дороге. Причем, загрязнению наиболее

подвержены жилые дома пониженной этажности, во внутренней жилой застройке более поздних лет акустическая обстановка благополучнее и причиной тому – экранирующий эффект от малоэтажных домов прежней застройки. Наиболее проблемными участками по акустическому загрязнению, в рассматриваемой системе «автомобильная дорога – жилая застройка», стали места расположения остановочных пунктов общественного автотранспорта, которые для удобства пассажиров и безопасности пешеходов находятся в непосредственной близости с наземными пешеходными переходами.

Следует отметить, что к сооружениям остановочных пунктов общественного автотранспорта (СООТ) в условиях города относятся остановочные павильоны (автопавильоны), киоски розничной торговли и быстрого питания, диспетчерский пункт и т.п., которые также обладают экранирующим эффектом.

Таким образом, актуальность диссертационного исследования обусловлена: во-первых, интенсивностью шумового воздействия на жилую застройку, прилегающую к участкам улично-дорожной сети (УДС) со светофорным регулированием, сопряженным с остановочными пунктами общественного транспорта,

во-вторых, ограниченным выбором методов снижения шума от автотранспортных потоков в условиях уже сложившейся городской застройки,

в-третьих, отсутствием научных разработок, методик и рекомендаций по использованию СООТ в качестве экранирующего средства шумозащиты жилой застройки от автотранспортного шума.

Возможности использования СООТ в качестве средства защиты городской среды от акустического загрязнения практически не изучены и требуют научного подхода для обоснования эффективности их применения и выбора рациональных конструкций.

**Целью диссертационной работы** является снижение шума от автотранспортного потока в сложившейся жилой застройке, прилегающей к участкам улично-дорожной сети со светофорным регулированием, использованием экранирующих свойств сооружений остановочных пунктов общественного транспорта.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд **следующих задач**.

1. Провести анализ шумовой обстановки на основе теоретических и экспериментальных исследований в системе «автомобильная дорога – жилая застройка» на участках УДС со светофорным регулированием, сопряженных с остановочными пунктами общественного транспорта, и обосновать приемлемые методы для снижения шума в рассматриваемой системе.

2. Провести теоретический анализ процессов формирования и распространения шума от автотранспортного потока и их моделирование с программной компьютерной реализацией в системе «автомобильная дорога – СООТ – жилая застройка» на участках УДС со светофорным регулированием, сопряженных с остановочными пунктами общественного транспорта.

3. Провести натурные экспериментальные исследования процессов формирования и распространения шума от автотранспортного потока в системе «автомобильная дорога – СООТ – жилая застройка» для подтверждения адекватности теоретической модели и шумозащитного эффекта СООТ за счет их экранирующих свойств.
4. Разработать методику и компьютерную программу для расчета параметров СООТ и дополнительной экранирующей панели (ДЭП), размещаемой на их кровле, для достижения максимального шумозащитного эффекта конструкций.
5. Разработать номограммы для инженерных расчетов оптимальных параметров СООТ и ДЭП для достижения максимального шумозащитного эффекта в жилой застройке.

**Степень разработанности темы.** Решению задач снижения шума от транспортных автомагистралей и уменьшения шумового загрязнения прилегающей к ним жилой застройки уделено большое внимание в работах Аистова В.А., Климухина А.А., Коробкова В.Е., Самойлюк Е.П., Факторович А.А., Осипова Г.Л., Юдина Е.Я., Иванова Н.И., Карагодиной И.Л., Мининой Н.В., Ковригина С.Д., Поспелова П.И., Подольского В.П., Пруткова Б.Г., Асминина В.Ф., Шубина И.Л., Тюриной Н.В., Шашурина А.Е., Бакаевой Н.В., Леденева В.И. и других отечественных ученых, в том числе зарубежных – Маекава Д., Курце У., Андерсон Ж., Ретингер М. и др. В настоящее время разработаны различные методы расчета и средства снижения шума в селитебных зонах от наземных транспортных средств. Также, на сегодняшний день существует ряд программных продуктов для ЭВМ: Shum 2011 (используется при расчете защиты от шума), программная система «СТАР» (санитарно-технические акустические расчеты), EXNOISE (математическая модель распространения шума в объеме городской застройки) и т.п. К основным средствам снижения шума можно отнести придорожные шумозащитные экраны (ШЗЭ) различного исполнения. Значительная часть современных исследований направлена на совершенствование методик их проектирования и размещения, а также повышение точности результатов расчета акустической эффективности применения. Однако для решения поставленной цели возможность применения ШЗЭ ограничена рядом причин, к основным из которых можно отнести ограничение передвижения пешеходов и нарушение облика улиц города. Это побудило к поиску новых путей снижения акустического загрязнения части сложившейся жилой застройки, прилегающей к участкам УДС со светофорным регулированием, сопряженным с остановочными пунктами общественного транспорта.

**Объектом исследования** являются участки жилой застройки, прилегающие к УДС и сопряженные с остановочными пунктами общественного транспорта.

**Предмет исследования** – экранирующие шумозащитные свойства сооружений остановочных пунктов общественного транспорта.

**Методы** – аналитические, теоретические и натурные экспериментальные исследования шумозащитных свойств сооружений остановочных пунктов, программное моделирование рассматриваемых процессов формирования и распространения шума от автотранспортного потока.

Обработка результатов исследования проведена методами математической статистики, а также на основе разработанного программного продукта (компьютерная программа «Программа для моделирования распространения шума через сооружения на остановках общественного транспорта» на языке Object Pascal в интегрированной среде программирования Borland Delphi 7.0).

**Информационной базой** диссертационной работы послужили ранее выполненные исследования ученых, а также результаты экспериментального изучения процессов формирования и распространения шума от автотранспортного потока в сложившейся в 1950-1970 гг. жилой застройке, прилегающей к улично-дорожной сети города Воронежа.

**Научная новизна** работы состоит в следующем:

- обоснована экранирующая эффективность сооружений остановочных пунктов общественного автотранспорта в снижении шума от автотранспортного потока в жилой застройке на основании теоретических и натуральных экспериментальных исследований;

- разработаны модель формирования и распространения шума от автотранспортного потока в системе «автомобильная дорога – СООТ – жилая застройка» и ее программная компьютерная реализация, позволяющая визуализировать процесс распределения шумового воздействия по высоте защищаемого жилого здания с количественными характеристиками уровня акустического загрязнения;

- обоснованы основные параметры предложенной дополнительной экранирующей панели (высота и угол наклона), располагаемой на кровле СООТ, для повышения шумозащитного эффекта сооружения; выбор параметров дополнительной экранирующей панели (ДЭП) осуществлен с использованием компьютерного моделирования;

- получены аналитические зависимости по результатам натуральных экспериментальных исследований, на основе которых разработаны номограммы для инженерных расчетов по выбору оптимальных параметров ДЭП, обеспечивающих максимальный шумозащитный эффект в зависимости от расположения СООТ относительно автомобильной дороги и защищаемого жилого здания.

**Достоверность результатов, приведенных в диссертации,** подтверждается результатами натуральных экспериментальных исследований, проведенных на улично-дорожной сети г. Воронежа и их обработкой методами математической статистики; применением существующих теоретических представлений прикладной акустики; использованием современных измерительных приборов.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Предложенное теоретическое представление процессов формирования и распространения автотранспортного шума в системе «автомобильная дорога – СООТ – жилая застройка» было использовано при разработке программы моделирования процесса распространения шума через СООТ. Созданная программа позволяет проектировать данные сооружения с заданными шумозащитными

характеристиками относительно жилой застройки городов. Получено свидетельство о государственной регистрации компьютерной программы «Программа для моделирования распространения шума через сооружения на остановках общественного транспорта». Разработана методика по выбору параметров СООТ и ДЭП для их эффективного применения в качестве средства шумозащиты жилой застройки.

**Теоретической и методологической основой** исследования являются теоретические положения процесса шумообразования от автотранспортных потоков в жилой застройке, прилегающей к автомобильной дороге, базирующиеся на современных представлениях прикладной акустики; методы анализа шумовых характеристик автотранспортных потоков, методы математической статистики, многофакторный корреляционный анализ.

**На защиту выносятся:**

- 1) теоретическое и экспериментальное обоснование использования СООТ, обладающих экранирующим эффектом, в качестве средства защиты населения от акустического загрязнения в сложившейся жилой застройке, прилегающей к участкам улично-дорожной сети со светофорным регулированием, сопряженным с остановочными пунктами;
- 2) теоретическая модель процессов формирования и распространения шума от автотранспортного потока в системе «автомобильная дорога – СООТ – жилая застройка»;
- 3) компьютерная программа, реализующая теоретическую модель с визуализацией процесса распространения шума от автотранспортного потока, его прохождения через СООТ до жилой застройки и с количественной оценкой значений акустического загрязнения по высоте здания;
- 4) методика расчета оптимальных параметров СООТ и ДЭП, устанавливаемой на их кровле, обеспечивающих максимальный шумозащитный эффект в зависимости от расположения СООТ относительно автомобильной дороги и защищаемого жилого здания.

**Апробация работы.** Основные материалы и результаты диссертации были доложены, рассмотрены и одобрены: на Международном конгрессе по охране труда (г. Москва, 2007 г.); II Международной научно-практической конференции (г. Невинномысск, 2009 г.); Международной научно-практической конференции «Современные проблемы безопасности жизнедеятельности: опыт, проблемы, поиски решения» (г. Казань, 26 февраля 2010 г.); III Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и наука: реальность и будущее» (г. Невинномысск, 2010 г.); XII Международной молодежной научной конференции «СЕВЕРГЕОЭКОТЕХ» (г. Ухта, 18 марта 2011 г.); II Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы БЖД и защиты населения и территорий в ЧС» (г. Ставрополь, 25 апреля 2011 г.); IV Всероссийской научной конференции студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы социально-политического и экономического развития России и мира» (г. Воронеж, 14 мая 2010 г.); V Всероссийской научной конференции студентов и молодых ученых «Социально-политические и

экономические проблемы развития России и мира в первой четверти XXI века» (г. Воронеж, 4 декабря 2010 г.) и на ежегодных научно-практических конференциях профессорско-преподавательского состава и аспирантов ВГЛТА в 2006-2009 гг.; на Международной научно-технической конференции «Современные проблемы градостроительства. Инфраструктура, инженерные и дорожно-транспортные коммуникации» (г. Воронеж, 2014 г.).

**Реализация работы.** Основные инновационные элементы экранирующих конструкций были представлены на Воронежской промышленной выставке и отмечены дипломом Победителя конкурса «За инновационную привлекательность». Получен акт о внедрении ООО «Липецкницстройпроект», а также – одобрение от главного архитектора г. Липецка на использование рекомендаций представляемого исследования для технологического и конструктивного исполнения остановочных пунктов УДС г. Липецка.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 15 научных работ, из них 6 статей в изданиях, рекомендованных перечнем ВАК Минобрнауки России, и 1 статья в журнале, входящем в международную базу цитирования Scopus.

**Структура и объём работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения. Работа изложена на 126 страницах, содержит 9 таблиц, 46 рисунков, список литературы из 123 наименований и 7 приложений.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность выбранной темы работы, степень ее разработанности, сформулированы цели и задачи, отмечены научная новизна и основные результаты, выносимые на защиту, а также теоретическая и практическая значимость полученных результатов.

В **первой главе** приводятся результаты анализа существующих методов снижения автотранспортного шума, направленных на уменьшение уровня акустического загрязнения городской среды в системе «автомобильная дорога – жилая застройка».

В диссертационной работе рассмотрены архитектурно-планировочные методы. Анализ их достоинств и недостатков показал, что их применение в условиях сложившейся жилой застройки малоэффективно. Архитектурно-планировочные решения реализуемы в полном объеме на стадии проектирования новых жилых массивов в привязке к улично-дорожной сети. Акустическое экранирование, как метод снижения транспортного шума, результативен и прост в реализации для загородных автомагистралей. Поиск технического решения для системы «автомобильная дорога – жилая застройка» в условиях сложившейся застройки направлен к синтезу этих двух наиболее приемлемых методов.

В 90-е гг. XX в. получило широкое распространение строительство торговых павильонов (киоски «Роспечать», фастфуда и т.п.) вдоль городских улиц. Эти сооружения возводились, исходя из функциональной необходимости и для удовлетворения потребностей населения. Данная застройка, как правило, складывалась стихийно, в местах массового скопления людей; без проектных



рекомендаций по архитектурно-планировочным решениям и, что важно, без учета оптимизации их экранирующего эффекта с позиции снижения акустического загрязнения от автотранспортных потоков жилой застройки, прилегающей к УДС.

Вопрос обеспечения акустического комфорта рассмотрен на примере г. Воронежа: автотранспортный поток выступает в качестве источника акустического загрязнения, здания жилой застройки, прилегающие к автомобильной дороге – объект шумозащиты.

Опираясь на проведенный анализ и сложившуюся шумовую обстановку в местах расположения регулируемых пересечений проезжих частей и пешеходных переходов, сопряженных с остановочными пунктами общественного автотранспорта – наиболее проблемных участках по шумовому загрязнению в системе «автомобильная дорога – жилая застройка» – предложено использовать шумозащитный эффект СООТ. В большинстве проектных решений городской среды сооружения остановочных пунктов общественного автотранспорта выступают в качестве преграды на пути распространения акустического загрязнения, создаваемого автотранспортным потоком.

Поскольку, в условиях сложившейся городской застройки, достижение акустического комфорта согласно нормативным требованиям невыполнимо, снижение уровня шумового загрязнения может быть достигнуто комплексом мер, направленных на решение отдельных задач.

Во **второй** главе изучены существующие методы анализа процесса шумообразования от автотранспортного потока: эмпирический и наиболее распространенный среди графоаналитических – метод энергетического суммирования.

В идеале для теоретического представления процессов формирования и распространения акустического загрязнения в прилегающей жилой застройке необходимо учитывать многочисленные факторы, относящиеся к элементам системы «автомобильная дорога – жилая застройка».

Поскольку приведенные методики расчета уровня шума в рассматриваемой системе не охватывают всего многообразия влияющих факторов, они не могут быть взяты за основу при достижении цели, поставленной в диссертационной работе.

Моделирование процесса шумообразования в данной системе без упрощений и допущений невозможно. Необходима упрощенная модель для решения конкретной проблемы – защиты от акустического загрязнения, создаваемого автотранспортным потоком, сложившейся жилой застройки, прилегающей к участкам УДС со светофорным регулированием, сопряженным с остановочными пунктами общественного автотранспорта.

Для реализации цели, обозначенной в диссертационной работе, необходимо разработать теоретическую модель с соответствующими допущениями и ограничениями, адаптированную по результатам натуральных экспериментальных исследований. Сложность моделирования процесса распространения шума от автотранспорта, экранированного сооружениями, обусловлена следующими фактами: наличием, как минимум, четырех сред, необходимостью

воспроизведения в модели геометрической конфигурации СООТ с высоким пространственным разрешением, заданием сложного пространственного распределения для источника шума, необходимостью воспроизведения в среде дифракционных и интерференционных явлений.

Основой для описания физических процессов снижения шума акустическими экранами является оптико-дифракционная теория, предложенная Д. Маекава. Расчет эффективности ШЗЭ осуществляется с помощью числа Френеля. В научных изысканиях последнего времени предложено использовать коэффициент дифракции экрана, что позволяет обеспечить высокую точность расчетов, но требует широкой экспериментальной проверки.

Опираясь на современные теоретические представления о шумообразовании, была предложена сеточная модель с сосредоточенными параметрами и упруго-вязким взаимодействием элементов. Исходя из симметрии моделируемого объекта, использована двумерная сеточная модель, соответствующая поперечному срезу автомобильной дороги с прилегающими СООТ и зданием жилой застройки, которая представлена на рисунке 1.

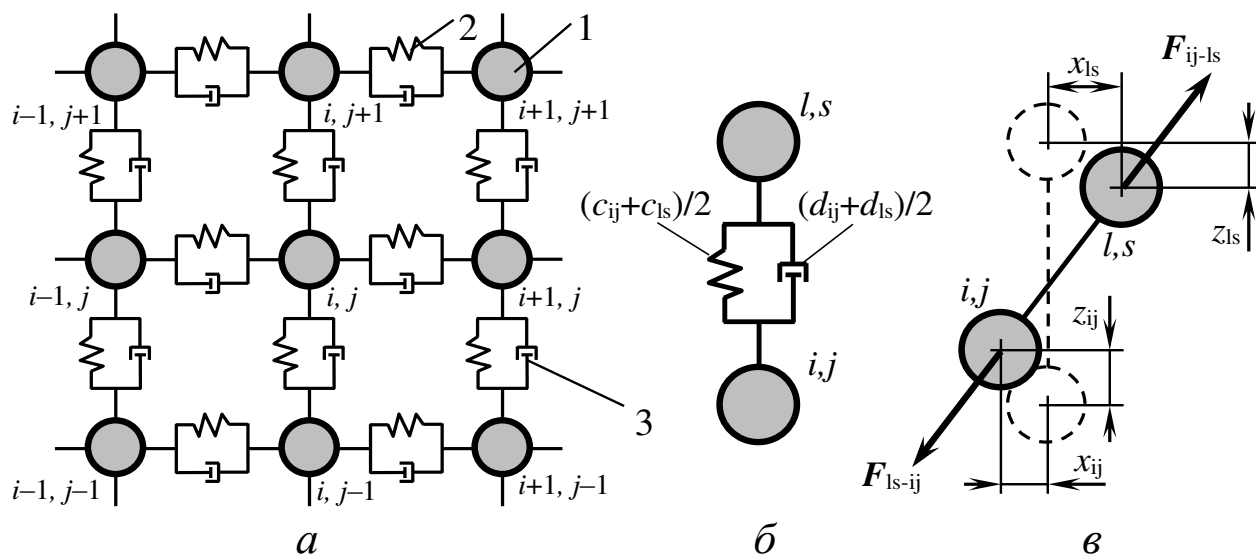


Рисунок 1 – Сеточная модель (1 – элемент массы, 2- элемент жесткости (упругости), 3 – элемент вязкости (демпфирования)): а – индексация узлов сетки; б – отдельное вязкоупругое взаимодействие; в – появление упругих сил при смещении узлов сетки из равновесных положений

Каждый узел сетки, который может вступать в механическое взаимодействие с четырьмя соседними, характеризуется следующими параметрами:

- тип среды  $k_{ij}$  (для воздушной среды принято обозначение  $k_{ij} = 1$ , для грунта  $k_{ij} = 2$ , для материала СООТ  $k_{ij} = 3$ , для материала здания  $k_{ij} = 4$ );
- масса  $m_{ij}$ , связанная с объемной плотностью среды  $\rho$  соотношением:  $m = \rho d_0^3$ , где  $d_0$  – шаг сетки;
- коэффициент жесткости взаимодействия с соседними элементами  $c_{ij}$ ;
- коэффициент вязкости (демпфирования) взаимодействия с соседними элементами  $d_{ij}$ ;
- декартовы составляющие смещения из равновесного положения  $x_{ij}$ ,  $z_{ij}$ ;

- декартовы составляющие скорости  $v_{xij}$ ,  $v_{zij}$ .

В разработанной модели учитываются такие физические явления, как распространение звуковой волны, ее отражение, поглощение, преломление, явления дифракции и интерференции.

В предложенной сеточной модели с сосредоточенными параметрами расчет механического поведения сред сводится к решению следующей системы из двух дифференциальных уравнений второго порядка для каждой из них:

$$\left\{ \begin{array}{l} m_{ij} \frac{d^2 x_{ij}}{dt^2} = \frac{c_{ij} + c_{i+1j}}{2} \left( d_0 - \sqrt{(x_{i+1j} - x_{ij})^2 + (z_{i+1j} - z_{ij})^2} \right) \frac{x_{i+1j} - x_{ij}}{\sqrt{(x_{i+1j} - x_{ij})^2 + (z_{i+1j} - z_{ij})^2}} + \\ + \frac{c_{ij} + c_{i-1j}}{2} \left( d_0 - \sqrt{(x_{i-1j} - x_{ij})^2 + (z_{i-1j} - z_{ij})^2} \right) \frac{x_{i-1j} - x_{ij}}{\sqrt{(x_{i-1j} - x_{ij})^2 + (z_{i-1j} - z_{ij})^2}} + \\ + \frac{c_{ij} + c_{ij+1}}{2} \left( d_0 - \sqrt{(x_{ij+1} - x_{ij})^2 + (z_{ij+1} - z_{ij})^2} \right) \frac{x_{ij+1} - x_{ij}}{\sqrt{(x_{ij+1} - x_{ij})^2 + (z_{ij+1} - z_{ij})^2}} + \\ + \frac{c_{ij} + c_{ij-1}}{2} \left( d_0 - \sqrt{(x_{ij-1} - x_{ij})^2 + (z_{ij-1} - z_{ij})^2} \right) \frac{x_{ij-1} - x_{ij}}{\sqrt{(x_{ij-1} - x_{ij})^2 + (z_{ij-1} - z_{ij})^2}} + \\ + \frac{d_{ij} + d_{i+1j}}{2} \left( \frac{dx_{i+1j}}{dt} - \frac{dx_{ij}}{dt} \right) + \frac{d_{ij} + d_{i-1j}}{2} \left( \frac{dx_{i-1j}}{dt} - \frac{dx_{ij}}{dt} \right) + \frac{d_{ij} + d_{ij+1}}{2} \left( \frac{dx_{ij+1}}{dt} - \frac{dx_{ij}}{dt} \right) + \frac{d_{ij} + d_{ij-1}}{2} \left( \frac{dx_{ij-1}}{dt} - \frac{dx_{ij}}{dt} \right); \\ m_{ij} \frac{d^2 z_{ij}}{dt^2} = \frac{c_{ij} + c_{i+1j}}{2} \left( d_0 - \sqrt{(x_{i+1j} - x_{ij})^2 + (z_{i+1j} - z_{ij})^2} \right) \frac{z_{i+1j} - z_{ij}}{\sqrt{(x_{i+1j} - x_{ij})^2 + (z_{i+1j} - z_{ij})^2}} + \\ + \frac{c_{ij} + c_{i-1j}}{2} \left( d_0 - \sqrt{(x_{i-1j} - x_{ij})^2 + (z_{i-1j} - z_{ij})^2} \right) \frac{z_{i-1j} - z_{ij}}{\sqrt{(x_{i-1j} - x_{ij})^2 + (z_{i-1j} - z_{ij})^2}} + \\ + \frac{c_{ij} + c_{ij+1}}{2} \left( d_0 - \sqrt{(x_{ij+1} - x_{ij})^2 + (z_{ij+1} - z_{ij})^2} \right) \frac{z_{ij+1} - z_{ij}}{\sqrt{(x_{ij+1} - x_{ij})^2 + (z_{ij+1} - z_{ij})^2}} + \\ + \frac{c_{ij} + c_{ij-1}}{2} \left( d_0 - \sqrt{(x_{ij-1} - x_{ij})^2 + (z_{ij-1} - z_{ij})^2} \right) \frac{z_{ij-1} - z_{ij}}{\sqrt{(x_{ij-1} - x_{ij})^2 + (z_{ij-1} - z_{ij})^2}} + \\ + \frac{d_{ij} + d_{i+1j}}{2} \left( \frac{dz_{i+1j}}{dt} - \frac{dz_{ij}}{dt} \right) + \frac{d_{ij} + d_{i-1j}}{2} \left( \frac{dz_{i-1j}}{dt} - \frac{dz_{ij}}{dt} \right) + \frac{d_{ij} + d_{ij+1}}{2} \left( \frac{dz_{ij+1}}{dt} - \frac{dz_{ij}}{dt} \right) + \frac{d_{ij} + d_{ij-1}}{2} \left( \frac{dz_{ij-1}}{dt} - \frac{dz_{ij}}{dt} \right). \end{array} \right. \quad (1)$$

Уравнения (3) решаются в процессе моделирования численным методом – методом Рунге-Кутты второго порядка:

$$x_{ij}^{\tau+1} = x_{ij}^{\tau} + v_{xij}^{\tau} \cdot \Delta t + a_{xij}^{\tau} \cdot (\Delta t)^2 / 2; \quad v_{xij}^{\tau+1} = v_{xij}^{\tau} + a_{xij}^{\tau} \cdot \Delta t; \quad (2)$$

$$z_{ij}^{\tau+1} = z_{ij}^{\tau} + v_{zij}^{\tau} \cdot \Delta t + a_{zij}^{\tau} \cdot (\Delta t)^2 / 2; \quad v_{zij}^{\tau+1} = v_{zij}^{\tau} + a_{zij}^{\tau} \cdot \Delta t,$$

где  $ij$  – индексы узла,  $\tau$  и  $\tau+1$  – индексы текущего и следующего временного шага;  $\Delta t$  – шаг интегрирования по времени;  $x_{ij}$ ,  $v_{ij}$ ,  $a_{ij}$  – соответственно координата, скорость, ускорение узла  $ij$ .

Для удобства исследования системы уравнений и проведения компьютерных экспериментов составлена компьютерная программа «Программа для моделирования распространения шума через сооружения на остановках общественного транспорта» на языке ObjectPascal в интегрированной среде программирования BorlandDelphi 7.0.

Программа предназначена также и для моделирования процесса прохождения звука, создаваемого автотранспортным потоком, через сооружения на остановочных пунктах общественного транспорта.

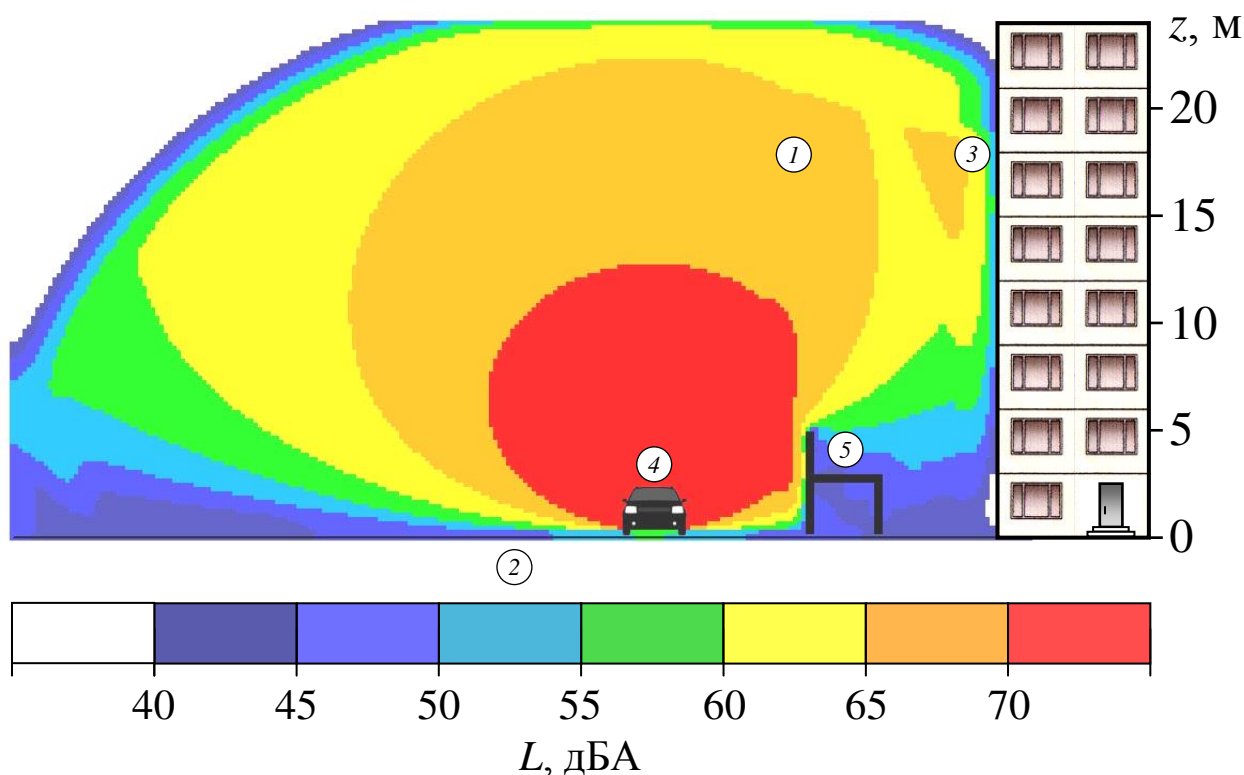


Рисунок 2 – Вариант визуализации моделируемой системы: картограмма распределения максимального уровня акустического загрязнения  $L(x, z)$ : 1 – воздушная среда; 2 – грунт; 3 – жилое здание (объект шумозащиты); 4 – автотранспортный поток (источник шума); 5 – СООТ

Её можно использовать для представления распределения шумового воздействия по высоте зданий, расположенных за сооружениями на остановочных пунктах общественного автотранспорта, с количественными характеристиками уровня акустического загрязнения (рисунок 2). В тексте программы могут быть заданы геометрические и физические параметры моделируемых сооружений, амплитудно-частотные характеристики и пространственные характеристики нахождения источника шума.

Отличительной особенностью разработанного программного продукта является возможность проектирования конструкции СООТ с использованием их экранирующих шумозащитных свойств для снижения акустического загрязнения городской среды. Таким образом, она может быть применена для решения конкретной проблемы, а именно, для расчета снижения уровня шума от автотранспортного потока в части сложившейся жилой застройки, прилегающей к участкам УДС со светофорным регулированием, сопряженным с остановочными пунктами общественного автотранспорта.

В **третьей главе** приведены результаты натуральных экспериментальных исследований процессов формирования и распространения автотранспортного шума, влияющего на уровень акустического загрязнения, в сложившейся жилой застройке, прилегающей к автомобильной дороге.

Натурные экспериментальные измерения акустического фона были проведены на Ленинском проспекте г. Воронежа, в местах расположения остановочных пунктов общественного автотранспорта: «П. Осипенко» (рисунок 3), «Нижняя», «пер. Гвардейский», которые совмещены со светофорными

объектами, регулирующими движение на пересечениях проезжих частей и наземных пешеходных переходах. Подобное расположение обусловлено обеспечением безопасности участников дорожного движения, удобством пешеходов и пассажиров.



Рисунок 3 – Остановочный пункт общественного автотранспорта «П. Осипенко» на Ленинском проспекте г. Воронежа

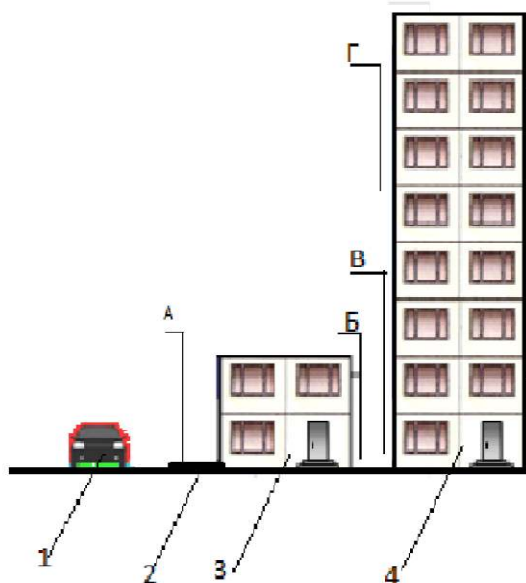
Проектные решения жилой застройки, прилегающей к Ленинскому проспекту, характерны для многих городов 50–70 гг. XX в. с населением от 300 тыс. до 1 млн. человек, поэтому были выбраны в качестве типового натурального объекта для измерений. К таковым относятся такие города Центрального федерального округа, как Курск, Тамбов, Липецк и др.

Натурные исследования проводились в «часы пик» (с 17 до 19 ч.) в два этапа.

На первом этапе были измерены уровни шума от автотранспортного потока ( $L$ , дБА) на разном удалении расчетных точек от проезжей части автомобильной дороги, в том числе, за экранирующими сооружениями, а также при различных состояниях автотранспортного потока. Для акустических измерений использовался шумомер-анализатор «ОКТАВА-110А», отвечающий современным требованиям к приборам данного типа и не уступающий зарубежным аналогам. В качестве источника шума выступил интенсивный 6-ти полосный автотранспортный поток, для которого также производилось измерение состава и интенсивности движения.

На рисунке 4 представлена схема расположения точек измерения уровней звука по удаленности от проезжей части автомобильной дороги.

Положение точек (А), (Б) и (В) в пространстве зафиксировано, высота их над поверхностью земли составляет около одного метра, это усредненное значение, поскольку основной источник шума автомобиля – его двигатель.



точка (А) – измерение уровня звука, создаваемого транспортным потоком ( $L_{АЭКВ}$ , дБА),  
 точка (В) – измерение  $L_{АЭКВ}$  с учетом экранирующего шумозащитного эффекта, создаваемого зданием первой линии жилой застройки,  
 точка (В) – измерение  $L_{АЭКВ}$  по удаленности от проезжей части дороги (в горизонтальном направлении),  
 точка (Г) – измерение  $L_{АЭКВ}$  по удаленности от проезжей части дороги (в вертикальном направлении).

Рисунок 4 – Схема расположения точек измерения (А, Б, В, Г) уровня транспортного шума по удаленности от проезжей части автомобильной дороги: 1 – транспортный поток, 2 – тротуар, 3 – здание первой линии застройки, 4 – здание второй линии застройки

Натурные экспериментальные исследования показали, что у края проезжей части эквивалентный уровень шума с периодом усреднения 10 минут в дневные часы составил 78 дБА, за зданием первой линии застройки – 69,2 дБА, далее по удалению от проезжей части уровень шума снизился до 67,8 дБА. Ниже, в таблицах 1 и 2 представлены полученные результаты натурных измерений первого этапа в сравнении с нормативными значениями.

Таблица 1 – Результаты измерения уровня транспортного шума по удаленности от проезжей части автомобильной дороги

уровень транспортного шума в различных точках измерения	у края проезжей части (А)	за зданием первой линии застройки (Б)	непосредственно у здания второй линии застройки (В)	на высоте 4 этажа здания второй линии застройки (Г)	допустимый /максимальный уровень транспортного шума в дневные часы, $L_{доп}$ , дБА
$L_{АЭКВ}$ , дБА	78,0	69,2	67,8	63,9	40 / 55,0

Следует отметить, что непосредственно на остановочных пунктах общественного автотранспорта, сопряженных со светофорными объектами, были зафиксированы доминирующие значения уровня автотранспортного шума (76,5 дБА) в сравнении с удаленными точками измерений: до и от него по ходу движения на расстояниях 50 и 100 метров. Подобная ситуация объясняется не

только влиянием светофорного регулирования, но и высокими уровнями шума от самих маршрутных транспортных средств.

Измерения проводились при различных состояниях автотранспортного потока: в процессе его движения, остановки и начала движения у светофорного объекта. Причем, уровень шума при включении разрешающего сигнала светофора оказался максимальным, чуть меньше в условиях движения потока и минимальных значений уровень шума достиг при его неподвижном состоянии (запрещающий сигнал светофора).

Таблица 2 – Результаты измерения уровня транспортного шума при различных состояниях автотранспортного потока

условия движения транспортного потока	запрещающий сигнал светофора, транспортный поток неподвижен	разрешающий сигнал светофора, транспортный поток в движении	начало движения, разгон ТС	допустимый / максимальный уровень транспортного шума в дневные часы, $L_{\text{доп}}$ , дБА
уровень звука, $L_{\text{АЭКВ}}$ , дБА	64,0	77,0	79,0	40 / 55,0

На втором этапе натуральных экспериментальных измерений определено распределение акустического загрязнения от автотранспортного потока по высоте здания, прилегающего к автомобильной дороге, с поэтажной фиксацией результатов (таблица 3).

Таблица 3 – Распределение акустического загрязнения от автотранспортного потока по высоте здания, прилегающего к автомобильной дороге

этаж	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$z$ , м	1,5	3,5	5,5	8,5	11,5	14,5	17,5	20,5	23,5
уровень звука, $L_{\text{АЭКВ}}$ , дБА	65,3	64,2	63,6	62,9	61,6	61,6	62,9	62,2	63,2

Полученные значения уровней автотранспортного шума свидетельствуют о наличии зоны акустического дискомфорта на исследуемой территории, поскольку показатели шума в окружающей среде превышают предельные значения.

По санитарным правилам СП 51.13330.2011, допустимым уровнем шума принято считать величину в 40 дБА в дневное время (с 7 до 23 ч.) и 30 дБА в ночное (с 23 до 7 ч.), максимальный уровень шума составляет соответственно 55 дБА и 45 дБА. Уровень шума считается допустимым в пределах нормы, когда он как по эквивалентному, так и по максимальному уровню не превышает данные значения.

В ходе второго этапа измерений было также установлено, что с увеличением этажности уровень шума снижается в пределах ошибки измерения интенсивности транспортного потока. На верхних этажах возрастание уровня шума объясняется влиянием многократного отражения звука от дорожного покрытия и зданий, расположенных по обе стороны дороги. В ходе второго этапа измерений подтверждена адекватность предложенной теоретической модели формирования и распространения акустического загрязнения в системе «автомобильная дорога – жилая застройка». Так, полученные результаты экспериментальных натурных исследований подтвердили результаты теоретического моделирования процессов формирования и распространения акустического загрязнения с помощью разработанной компьютерной программы распространения шума, что позволило в дальнейшем исследовать и анализировать шумозащитные свойства СООТ при вариативности их исполнения и расположения в системе «автомобильная дорога – СООТ – жилая застройка».

В **четвертой главе** представлено исследование шумозащитного эффекта СООТ с помощью разработанной компьютерной программы.

В первую очередь был изучен процесс распространения звуковых волн от единичного источника шума (автомобиля шириной 2,0 метра и высотой 1,5 метра), расположенного от СООТ на расстоянии 6,0 метров. Параметры автопавильона были заданы следующие: ширина 3,0 метра, высота 2,5 метра, ДЭП рассматривалась высотой в 2,0 метра, жилое здание – объект шумозащиты, было расположено за СООТ на расстоянии 5,0 метров. Следует отметить, что выбор параметров автопавильона основывался на требованиях стандарта отрасли ОСТ 218.1.002-2003 «Автобусные остановки на автомобильных дорогах. Общие технические требования».

Исследование шумозащитного эффекта СООТ с помощью разработанной компьютерной программы показало, что особенностью процесса распространения звуковых волн, а, следовательно, и акустического загрязнения, в рассматриваемом случае является формирование двойного фронта, который обусловлен тем, что источник звука находится на некоторой высоте над автомобильной дорогой и к фронту звукового импульса добавляется, с некоторым запаздыванием, фронт отраженного от автодороги импульса.

Анализ картограмм распределения шума показал, что СООТ выполняет две шумозащитные функции. Первая функция заключается в прямом экранировании шума, распространяющегося от источника, вторая функция состоит в экранировании звуковых волн, отраженных от поверхности автомобильной дороги.

Ниже, на рисунке 5 представлен результат исследования экранирующего эффекта сооружения остановочного пункта, на кровле которого установлена дополнительная экранирующая панель, в динамике. Картина шумообразования получена с помощью программной реализации модели процесса распространения шума от автотранспортного потока в системе «автомобильная дорога – СООТ – жилая застройка».



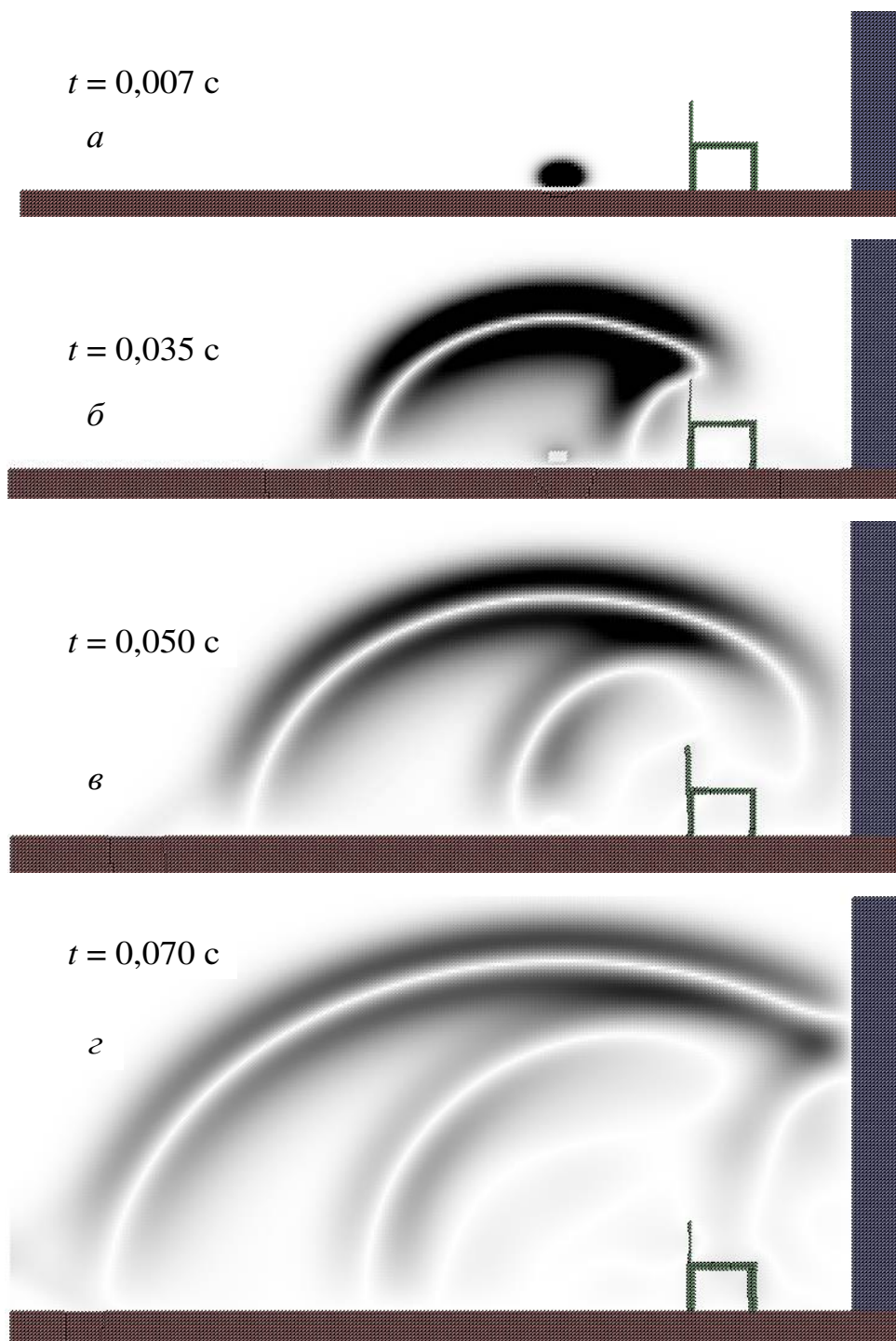


Рисунок 5 – Исследование экранирующего эффекта СООТ с помощью программной реализации модели процесса распространения автотранспортного шума в жилой застройке, прилегающей к автомобильной дороге

С помощью разработанной модели было исследовано поэтажное изменение уровня шума в зависимости от варьирования геометрических параметров СООТ (высота, ширина), ДЭП (высота, а также угол ее наклона относительно автомобильной дороги) и по расположению СООТ относительно проезжей части и жилой застройки.

В ходе проведенного исследования определены технологические рекомендации по размещению СООТ и их конструктивному исполнению для снижения уровня акустического загрязнения в системе «автомобильная дорога – СООТ – жилая застройка»:

- СООТ высотой  $H=2,0$  м обеспечивают снижение уровня шума до 10 дБА по фасаду объекта шумозащиты (жилого здания) на высоте 5,0 м, а высотой  $H=5,0$  м обеспечивают снижение уровня шума до 10 дБА по фасаду объекта шумозащиты (жилого здания) на высоте 10,0 м;
- СООТ шириной  $B=2,0\div 4,0$  м обеспечивают снижение уровня шума до 8–11 дБА для нижних этажей ( $1\div 3$ ) объекта шумозащиты, что выгодно их отличает от традиционных плоских акустических экранов, которые не обеспечивают такого эффекта;
- для повышения эффективности СООТ предлагается установка дополнительной экранирующей панели на их кровле со стороны автомобильной дороги (в качестве отгона высоты по аналогии с конструкцией ШЗЭ). Высота такой панели  $h_3$  должна быть не менее 1,5 м, что позволяет снизить дополнительно уровень шума на 3 дБА. Наибольший экранирующий эффект  $7\div 9$  дБА достигается при  $h_3=2,0\div 3,0$  м на фасаде жилого здания на уровне высоты 6,0–10,0 м от основания здания.
- $\alpha_3$  – угол наклона ДЭП в сторону автомобильной дороги от вертикального положения должен составлять  $15^\circ\div 20^\circ$ , что обеспечит снижение уровня шума на  $2\div 3$  дБА по фасаду жилого здания на высоте третьего этажа и выше (выше  $7\div 8$  м от основания здания).
- рекомендуется располагать СООТ по возможности ближе к автомобильной дороге, так как шумозащитный эффект от их установки снижается с 7 дБА до 2,5 дБА при удалении от 3,0 м до 9,0 м соответственно.

В рамках диссертационного исследования проведена оптимизация технических параметров установки СООТ, которая сводилась к определению величин высоты и угла наклона ДЭП ( $h_3, \alpha_3$ ), а также расстояния от источника шума до СООТ ( $L_{ш}$ ) и от СООТ до жилого здания ( $L_3$ ).

Аналитически задача оптимизации была представлена следующим образом:

$$\begin{cases} \Delta L_m(h_3, \alpha_3) \rightarrow \max; \\ \Delta L_3(h_3, \alpha_3) \rightarrow \max. \end{cases} \Rightarrow h_3, \alpha_3, \quad (3)$$

$$\begin{cases} \Delta L_m(L_{ш}, L_3) > \Delta L_{крит}; \\ \Delta L_3(L_{ш}, L_3) > \Delta L_{крит}. \end{cases} \Rightarrow \text{целесообразность установки экрана,}$$

где  $h_3$  – высота ДЭП, расположенной на кровле СООТ (рекламный щит и т.п.),  $\alpha_3$  – угол ее наклона в сторону автомобильной дороги;

$\Delta L_m = L_{мБЭ} - L_{мЭ}$  – максимальная величина снижения уровня шума на фасаде здания при оснащении СООТ дополнительной панелью ( $L_{мБЭ}$  и  $L_{мЭ}$  – уровни шума без ДЭП и с ДЭП соответственно);

$\Delta L_3 = L_{3БЭ} - L_{3Э}$  – максимальная величина снижения уровня шума на высоте 3-го этажа жилого здания при оснащении СООТ дополнительной панелью ( $L_{3БЭ}$  и  $L_{3Э}$  – уровни шума без ДЭП и с ДЭП соответственно). Выбор критерия  $\Delta L_3$  обусловлен

тем, что установка ДЭП на СООТ позволяет эффективнее всего снизить шум на высоте третьего этажа жилого здания (объекта шумозащиты).

Коэффициенты аппроксимирующих полиномов были определены методом наименьших квадратов (МНК). В данном случае МНК заключался в минимизации суммы квадратов отклонений аналитической зависимости от точек компьютерного эксперимента:

$$\sum_{i=1}^{N_{КЭ}} (K_{\text{аналит.}}(h_{Э}^i, \alpha_{Э}^i) - K_{КЭ}^i(h_{Э}^i, \alpha_{Э}^i))^2 \rightarrow \min, \quad (4)$$

где  $i$  – номер компьютерного эксперимента;  $N_{КЭ}$  – общее количество компьютерных экспериментов;  $K_{\text{аналит.}}$  – аналитическая зависимость критерия  $K$  от факторов;  $K_{КЭ}^i$  – значения  $K$ , определенные в  $i$ -м компьютерном эксперименте.

Для аппроксимации методом МНК использовали математическую программу MathCAD 14.

При этом варьируемые параметры имели фиксированные значения: параметр  $h_{Э}$  варьировался на уровнях 1,0 м; 2,5 м; 4,0 м, угол  $\alpha_{Э}$  – значениями  $0^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $40^\circ$ , расстояние  $L_{ш}$  – значениями 3,0 м; 6,0 м; 10,0 м, расстояние  $L_3$  – значениями 5,0 м; 10,0 м и 15,0 м.

В результате получены следующие аналитические зависимости (5):

$$\begin{aligned} \Delta L_m(h_{Э}, \alpha_{Э}) &= -0,037 h_{Э}^2 - 1,083 \cdot 10^{-3} \alpha_{Э}^2 + 0,025 h_{Э} \cdot \alpha_{Э} + 2,096 h_{Э} + 0,038 \alpha_{Э} - 0,520; \\ \Delta L_3(h_{Э}, \alpha_{Э}) &= -0,059 h_{Э}^2 - 1,708 \cdot 10^{-3} \alpha_{Э}^2 + 2,50 \cdot 10^{-3} h_{Э} \cdot \alpha_{Э} + 4,157 h_{Э} + 0,090 \alpha_{Э} - 2,068; \\ \Delta L_m(L_{ш}, L_3) &= 0,031 L_{ш}^2 - 0,134 L_3^2 + 0,091 L_{ш} \cdot L_3 - 1,855 L_{ш} + 1,561 L_3 + 9,017; \\ \Delta L_3(L_{ш}, L_3) &= 3,968 \cdot 10^{-3} L_{ш}^2 - 0,056 L_3^2 + 0,046 L_{ш} \cdot L_3 - 0,910 L_{ш} - 0,067 L_3 + 14,97. \end{aligned}$$

На основании полученных аналитических зависимостей разработаны номограммы (рисунки 6, 7) для инженерных расчетов по выбору оптимальных параметров ДЭП, обеспечивающих максимальный шумозащитный эффект в зависимости от расположения СООТ относительно автомобильной дороги и защищаемого жилого здания.

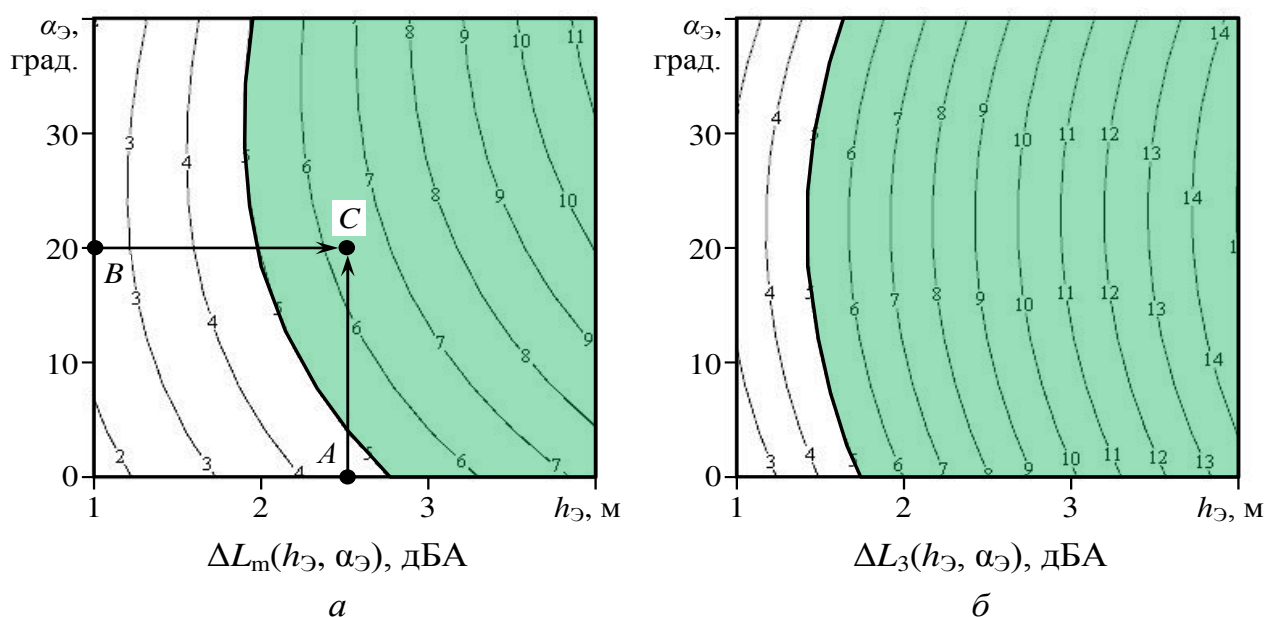


Рисунок 6 – Номограммы для оценки эффективности ДЭП высотой ( $h_{Э}$ ) и углом наклона

( $\alpha_3$ ) для достижения максимального снижения уровня шума: а) на фасаде ( $\Delta L_m$ ), б) на высоте третьего этажа ( $\Delta L_3$ )

Для примера (рисунок 6 а) рассмотрена произвольная точка С: при высоте ДЭП  $h_3=2,5$  м и угле ее наклона  $\alpha_3=20^\circ$  максимальное снижение уровня шума на фасаде здания  $\Delta L_m$  составит 6,4 дБА. В темных тонах номограмм обозначены области приемлемого выбора.

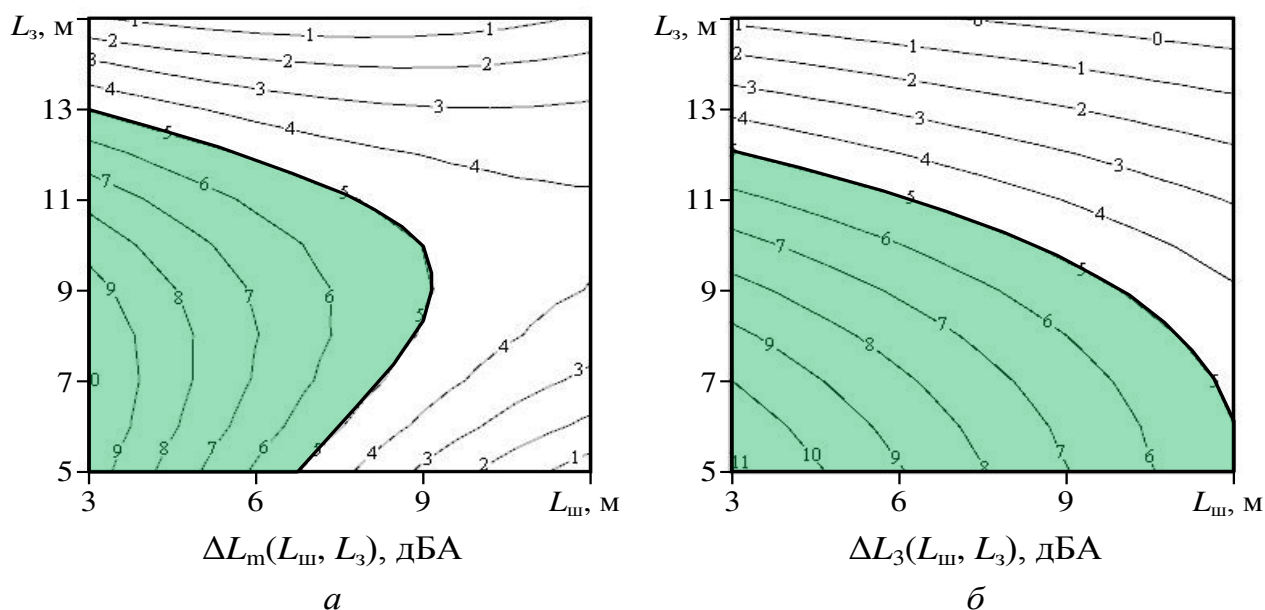


Рисунок 7 – Номограммы для оценки эффективности ДЭП для достижения максимального снижения уровня шума: а) на фасаде жилого здания ( $\Delta L_m$ ), б) на высоте третьего этажа объекта шумозащиты ( $\Delta L_3$ ), по расстоянию от источника шума до СООТ ( $L_{ш}$ ) и расстоянию от СООТ до жилого здания ( $L_3$ )

Материалы для изготовления дополнительных экранирующих панелей могут быть различными (изотропные, анизотропные), на основе металлов, полимеров, в том числе из отходов после вторичной их переработки. Конструктивно ДЭП также может быть исполнена полой или с гранулированными сыпучими материалами внутри. Необходимым условием для такой панели является обеспечение звукоизоляции не менее 10 – 12 дБ в частотном диапазоне от 250 Гц до 2 кГц, в котором доминируют спектральные составляющие шума от автотранспортных потоков.

Наряду с общеизвестными функциями СООТ (обеспечение безопасности и удобства для ожидающих пассажиров, эстетики городской среды), в диссертационной работе предложена и научно обоснована шумозащитная функция. Представленные в работе научные исследования с учетом возможной единой концепции архитектурно-планировочных решений конструкций СООТ с прилегающими торговыми павильонами позволят достичь синергетического эффекта в решении вопросов снижения уровня акустического загрязнения локальной территории городской среды и формирования ее эстетического облика.

Помимо этого, опираясь на сложившиеся тенденции в мировой практике по организации пассажирских перевозок в городах мегаполисах, в перспективе

остановочные павильоны могут служить для обеспечения климатического комфорта ожидающих пассажиров, размещения в них средств санитарной обработки (ультрафиолетовых излучателей, жидкостных санитайзеров) и точек электропитания для зарядки устройств мобильной связи. Внутренние и внешние поверхности сооружений остановочных пунктов могут быть использованы для размещения экранов и табло (в частности, на поверхности ДЭП) с целью адаптации человека в городской среде: информирования о времени прибытия общественного транспорта, о ближайших пунктах социальной инфраструктуры, рекламирования товаров и услуг.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. На основе проведенных теоретических и натуральных экспериментальных исследований процессов формирования и распространения шума от автотранспортного потока в системе «автомобильная дорога – жилая застройка» в условиях города установлено, что одной из причин, влияющих на акустическое загрязнение, являются особенности сложившейся застройки жилых зон.
2. Установлено, по результатам натуральных экспериментальных исследований, что наиболее проблемными местами по акустическому загрязнению от автотранспортного потока в сложившейся городской застройке стали места расположения остановочных пунктов общественного транспорта, которые для удобства и безопасности участников дорожного движения находятся в непосредственной близости с регулируемыми пешеходными переходами.
3. Предложено, исходя из анализа существующих методов снижения автотранспортного шума, в качестве шумозащитных экранирующих конструкций в условиях сложившейся городской застройки использовать имеющиеся сооружения остановочных пунктов общественного автотранспорта с установкой на их кровле дополнительной экранирующей панели.
4. Предложена модель процессов формирования и распространения шума от автотранспортного потока в системе «автомобильная дорога – жилая застройка» в местах расположения СООТ, достоверность которой подтверждена результатами натуральных экспериментальных исследований.
5. На основе модели разработана компьютерная программа «Программа для моделирования распространения шума через сооружения на остановках общественного транспорта», получившая свидетельство о государственной регистрации и позволяющая визуализировать процессы распространения шума от автотранспортного потока, его прохождения через СООТ до жилой застройки и давать количественную оценку значений акустического загрязнения по высоте здания.
6. Решена задача, с помощью компьютерного моделирования, оптимизации геометрических параметров ДЭП в зависимости от расположения СООТ относительно автомобильной дороги и жилой застройки; получены аналитические выражения, на основе которых разработана методика и построены номограммы для инженерных расчетов шумозащитного эффекта СООТ с применением ДЭП.
7. Результаты работы имеют практическую значимость, о чем свидетельствуют акт о внедрении ООО «Липецкницстройпроект», а также

одобрение главного архитектора г. Липецка на использование рекомендаций представляемого исследования для технологического и конструктивного исполнения остановочных пунктов УДС г. Липецка.

## **СПИСОК РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России**

1. Корда, У. Ю. Анализ путей снижения шума в сложившейся жилой застройке, прилегающей к остановочным пунктам общественного автотранспорта [Текст] / В. Ф. Асмнин, У. Ю. Корда // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура, 2010. – № 4 (20). – С. 141-145.
2. Корда, У. Ю. Об одном из путей снижения шума в сложившейся жилой застройке, прилегающей к остановочным пунктам общественного автотранспорта [Текст] / В. Ф. Асмнин, У. Ю. Корда // Безопасность жизнедеятельности, 2011. – № 4 (124). – С. 21–24.
3. Корда, У. Ю. Снижения шума в жилой застройке в районе остановок общественного автотранспорта [Текст] / В. Ф. Асмнин, У. Ю. Корда // Безопасность в техносфере, 2011. - № 2 – С. 35–36.
4. Павлова, У. Ю. Теоретическое представление процесса распространения автотранспортного шума для разработки программного комплекса проектирования сооружений остановочных пунктов общественного транспорта с функцией шумозащитного экранирования [Текст] / В. Ф. Асмнин, У. Ю. Павлова // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура, 2016. – № 2 (42). – С. 123-130.
5. Павлова, У. Ю. Проектирование сооружений остановочных пунктов общественного транспорта с функцией шумозащиты городской среды [Текст] / В. Ф. Асмнин, У. Ю. Павлова // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии, 2019. – № 1 (25). – С. 73-83.
6. Павлова, У. Ю. Характеристика остановочных павильонов как объектов городской среды и рекомендации по расширению их защитных функций [Текст] / В. Ф. Асмнин, У. Ю. Павлова // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии, 2019. – № 4 (28). – С. 81-90.

### **Публикация в издании, индексируемом Scopus**

7. Gordon, V.A. Algorithm of Calculation of Indicators of an Assessment of Conformity of Functions of the City to Standard Values of Parameters / V. A. Gordon, N. V. Bakaeva, D. P. Zuleta, U. Y. Pavlova // Applied Mechanics and Materials. ISSN. – Vol. 897. – 2020. – Pp. 195-201.

### **Публикации в других научных изданиях**

8. Асмнин, В. Ф. Методика экспериментальной оценки акустической эффективности экранирующих конструкций [Текст] / В. Ф. Асмнин, О. В. Бакланова, У. Ю. Корда, И. А. Малявко, О. Н. Маркина // Математическое

моделирование, компьютерная оптимизация технологий, параметров оборудования и систем управления: межвуз. сб. науч. тр.; под ред. д-ра техн. наук проф. В.С. Петровского / Воронеж. гос. лесотехн. акад. – Воронеж: ВГЛТА, 2006. – 321 с.

9. Корда, У. Ю. К вопросу о влиянии автотранспортного шума на жилую застройку городов [Текст] / У. Ю. Корда // Материалы II Международной научно-практической конференции. Естественные и прикладные науки. Том VIII. – Невинномысск, 2009. – С. 590 – 591.

10. Корда, У. Ю. Анализ путей снижения шума в сложившейся жилой застройке, прилегающей к остановочным пунктам общественного автотранспорта [Текст] / В. Ф. Асминин, У. Ю. Корда // Материалы Международной научно-практической конференции «Современные проблемы безопасности жизнедеятельности: опыт, проблемы, поиски решения». Часть I. Под общей ред. д-ра техн. наук, проф. Р.Н. Минниханова. – Казань: ГУ «Научный центр безопасности жизнедеятельности детей», 2010. – С. 555–558.

11. Корда, У. Ю. Проблема снижения шума в сложившейся жилой застройке, прилегающей к городским автомагистралям [Текст] / У. Ю. Корда // Материалы III Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и наука: реальность и будущее». Безопасность деятельности человека, 2010. – № 4 (20). – С. 201–205.

12. Корда, У. Ю. Шумообразование в жилой застройке, прилегающей к автомагистралям [Текст] / У. Ю. Корда // Материалы XII Международной молодежной научной конференции «СЕВЕРГЕОЭКОТЕХ». В 5 ч. Ч. 4. – Ухта: УГТУ, 2011. – С. 311–315.

13. Корда, У. Ю. Улучшение акустической обстановки в жилой застройке в условиях сложившейся улично-дорожной сети города [Текст] / У. Ю. Корда // Актуальные проблемы безопасности жизнедеятельности и защиты населения и территорий в чрезвычайных ситуациях: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. – Ставрополь: Изд-во СевКавГТУ; Сервисшкола, 2011. – С. 206–208.

14. Корда, У. Ю. Анализ шумовой обстановки на автотранспортных магистралях городов [Текст] / У. Ю. Корда, В. Ф. Асминин // Актуальные проблемы социально-политического и экономического развития России и мира: материалы IV-й Всероссийской научной конференции студентов и молодых ученых. В 2 ч. Ч. 2. – Воронеж: Воронеж. гос. ун-т (ВГУ) – Международный институт компьютерных технологий (МИКТ), 2010. – С. 102-107.

15. Павлова, У. Ю. Обоснование и выбор рациональных методов снижения транспортного шума в пространстве селитебной застройки, прилегающей к городским автодорогам [Текст] / У. Ю. Павлова // Международная научно-техническая конференция «Современные проблемы градостроительства. Инфраструктура, инженерные и дорожно-транспортные коммуникации». ВГАСУ. Воронеж, 2014. – С. 158-163.