

На правах рукописи



Шутова Ольга Александровна

**АНАЛИЗ ВИБРАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ АВТОТРАНСПОРТА НА
КОНСТРУКЦИИ ФУНДАМЕНТОВ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ**

Специальность 05.23.02 – Основания и фундаменты, подземные сооружения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Волгоград, 2018 г.

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (ПНИПУ) на кафедре «Строительное производство и геотехника»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Пономарев Андрей Будимирович

Официальные оппоненты: **Ставницер Леонид Рувимович**
доктор технических наук, профессор,
начальник экспертно–аналитического
отдела НИИОСП им. Н.М. Герсевича
АО «НИЦ «Строительство»

Мариничев Максим Борисович
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Основания и фундаменты»
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный
аграрный университет имени И.Т. Трубилина»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный
архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)»

Защита состоится «29» ноября 2018 г. в 10-00 часов на заседании объединенного диссертационного совета Д 999.194.02 при ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» по адресу: 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, к. Б-203.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Волгоградского государственного технического университета и на официальном сайте по ссылке <http://www.vstu.ru/nauka/dissertatsionnye-sovety/obyavleniya-o-zashchitakh/>

Автореферат разослан «__» _____ 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Акчурин Талгат Кадимович

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В настоящее время при строительстве в условиях плотной городской застройки приходится сталкиваться с источниками динамических нагрузок, основным из которых является транспорт. Вибрационное воздействие от автотранспорта оказывает негативное влияние на состояние строительных конструкций и фундаментов существующих зданий и, как правило, ухудшает свойства грунтов. Поэтому проведение оценки и анализа такого рода воздействия на основания зданий и их фундаменты в условиях сложившейся застройки является актуальной задачей в настоящее время.

Получение на основании выполненных исследований количественной оценки виброускорения конструкций фундаментов в зависимости от факторов, связанных с транспортным потоком, грунтовыми условиями и планировочными решениями, позволит в дальнейшем определить необходимость дополнительных мероприятий по защите зданий от вибрационного поля в условиях плотной городской застройки.

Степень разработанности темы исследования. Исследования динамических воздействий на грунт в различные годы проводились Барканом Д.Д., Вознесенским Е.А., Герсеговым Н.М., Ильичевым В.А., Курбацким Е.Н., Нуждиным Л.В., Савиновым О.А., Ставнищевым Л.Р., Тер-Мартirosяном А.З., Уздиным А.М. и др.

Вопросами, связанными с вибрационным воздействием автомобильного и рельсового транспорта на городскую застройку, занимались Алимов С.Г., Берлинов М.В., Голованов Р.О., Исмаилова З.Ф., Ковальчук О.А., Маринченко Е.В., Моторин В.В., Наумов Б.В., Титов Е.Ю. и др.

Методы снижения сейсмического и динамического воздействия на сооружения рассматривались Габитовым Ф.Г., Мариничевым М.Б., Нуждиным Л.В., Скворцовым Е.П., Уздиным А.М. и другими.

Однако в настоящее время в современной нормативной литературе отсутствуют методы учета вибрации, вызываемой транспортом, и ее влияния на существующую застройку, за исключением санитарных норм.

Целью работы является оценка вибрационного воздействия на конструкции фундаментов зданий, получение зависимости величины виброускорения от рассматриваемых факторов на основе выполненных автором экспериментально-теоретических исследований; разработка методики снижения влияния вибрации на фундаменты существующих зданий.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести натурные исследования воздействия вибрации на конструкции фундаментов существующих жилых зданий;
2. Определить основные факторы, влияющие на величину виброускорения;
3. Разработать численную модель передачи вибрационного воздействия автотранспорта на конструкции фундаментов;
4. Получить зависимости величины виброускорения от рассматриваемых факторов.

5. Разработать методику по снижению вибрационного воздействия на фундаменты существующих и проектируемых жилых зданий.

Предметом исследования является количественная оценка величины виброускорения конструкций фундаментов жилых зданий в зависимости от рассматриваемых факторов.

Объектом исследования является грунт основания и конструкция фундамента жилого здания.

Научная новизна работы состоит в следующем:

1. Определены значения виброускорения с учетом инженерно-геологических условий экспериментальных площадок, типа фундамента, массы транспортного средства и расстояния до источника вибрации;
2. Разработана модель и получены экспериментальные зависимости виброускорения от рассматриваемых факторов;
3. Предложена методика снижения уровня вибрационного воздействия автотранспорта на фундаменты существующих и проектируемых жилых зданий на примере города Перми.

Практическая значимость работы и ее использование.

Практическое значение работы состоит в том, что предложенная методика позволяет определить величину виброускорения конструкции фундамента здания на стадии проектирования и при необходимости разработать способы защиты от вибрации.

Результаты исследований *использованы*:

- при проектировании, подготовке проектов производства работ по подземной части зданий и сооружений, при строительстве в условиях плотной городской застройки в г. Перми на объектах, возводимых АО «ПЗСП» в 2015-2017 гг.,
- в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (ПНИПУ) при выполнении научно-исследовательской работы бакалаврами и магистрантами, обучающимися по направлению «Строительство» в 2014-2017 гг.

Теоретическая значимость работы состоит в разработке методики расчета величины виброускорения с учетом грунтовых условий площадки, вида фундамента, планировочных параметров и параметров транспортного потока. При проведении натурного эксперимента получена база данных о вибрационном воздействии на конструкции фундаментов существующих жилых зданий в центральной части города Перми. Разработана методика снижения вибрационного воздействия автотранспорта на конструкции фундаментов существующих и проектируемых жилых зданий.

Методология и методы исследования. Работа основана на проведении натурного и численного эксперимента по определению величины виброускорения фундамента здания. Численное моделирование выполнено с помощью программного комплекса, реализующего метод конечных элементов. На основании полученных экспериментальных зависимостей и результатов натурных

экспериментов разработана методика расчета величины виброускорения конструкции фундамента от рассматриваемых факторов.

Личный вклад автора. Представленная работа базируется на результатах исследований, проведенных при непосредственном участии автора. Лично автором осуществлены: обзор и анализ современного состояния проблемы изучения вибрационного воздействия автотранспорта на городскую застройку, экспериментальные и теоретические исследования зависимости величины виброускорения от рассматриваемых параметров, анализ полученных результатов, получение зависимости виброускорения от рассматриваемых факторов.

Положения, выносимые на защиту:

1. Результаты выполненных натурных исследований величины виброускорения конструкций фундаментов зданий, вызываемого движением проходящего рядом автотранспорта;
2. Постановка и решение задач передачи через грунтовый массив вибрации от движения автотранспорта на конструкции зданий;
3. Результаты и анализ численного моделирования и полученные экспериментально зависимости величины виброускорения от рассматриваемых параметров.
4. Методика снижения влияния вибрационного воздействия на фундаменты существующих и проектируемых жилых зданий.

Степень достоверности результатов исследования. Степень достоверности результатов работы и выводов определяется применением известных законов механики и динамики грунтов, а также подтверждены достаточным объемом исследований, обеспечивающим возможность анализа результатов. При проведении исследований использовалась аппаратура, соответствующая требованиям действующих стандартов. Расчеты выполнены с применением сертифицированных расчетных программ, используемых для решения геотехнических задач.

Апробация работы. Результаты исследований докладывались на научных конференциях:

- Международная научно-техническая конференция «Геотехника Беларуси: теория и практика» (Минск, БНТУ, 2008);
- Седьмые Савиновские чтения (Санкт-Петербург, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2014);
- Всероссийская молодежная конференция аспирантов, молодых ученых и студентов «Современные технологии в строительстве. Теория и практика» (Пермь, ПНИПУ, 2010-2016);
- Научно-практическая конференция строительного факультета ПГТУ, посвященная 50-летию строительного факультета «Строительство. Архитектура. Теория и практика» (Пермь, ПГТУ, 2009);
- Всероссийская научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием «Современные научные исследования в дорожном и строительном производстве» (Пермь, ПГТУ, 2011);

- Всероссийская конференция с международным участием «Фундаменты глубокого заложения и геотехнические проблемы территорий» (Пермь, ПНИПУ, 2017).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 16 научных работ, из них 5 статей – в рецензируемых журналах из «Перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание степени доктора наук», ВАК МинОбрНауки РФ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и четырех приложений. Общий объем составляет 177 страниц, 84 рисунка, 32 таблицы. Список литературы содержит 86 наименований, в том числе 10 иностранных.

2. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследований, приводятся научная новизна и практическое значение работы; изложены основные положения, выносимые на защиту, сведения об апробации и общей структуре работы.

В первой главе приводится анализ современного состояния исследования вибрации оснований и фундаментов зданий в условиях плотной городской застройки. Исследования динамических воздействий на грунт проводятся с начала 20-го века. Наибольший вклад в изучение проблемы внесли Алимов С.Г., Баркан Д.Д., Берлинов М.В., Вознесенский Е.А., Габибов Ф.Г., Герсеванов Н.М., Голованов Р.О., Ильичев В.А., Исмагилова З.Ф., Ковальчук О.А., Курбацкий Е.Н., Мариничев М.Б., Маринченко Е.В., Моторин В.В., Наумов Б.В., Нуждин Л.В., Савинов О.А., Скворцов Е.П., Ставницер Л.Р., Тер-Мартirosян А.З., Титов Е.Ю., Уздин А.М. и др. Сделан вывод, что в настоящее время наиболее подробно изучены воздействия, вызываемые динамическими механизмами и оборудованием, предложены параметры оценки их влияния и методы расчета и прогноза. Проводятся исследования в области устройства свайных фундаментов и предложены методы оценки влияния такого строительства на существующую застройку. Показано, что меньше всего изучено вибрационное влияние транспорта на существующую застройку, при этом основная часть работ посвящена вибрационному воздействию рельсового транспорта, меньшая – влиянию автотранспорта. Однако транспорт оказывает значительное влияние на существующую застройку, особенно в старых, сложившихся частях городов.

Представлен анализ проведенных ранее экспериментальных исследований вибрационного воздействия на городскую застройку и сделан вывод о том, что на данный момент выполнено достаточно большое количество работ, посвященных вибрационному воздействию рельсового транспорта, но практически нет работ, связанных с воздействием автотранспорта, что говорит об актуальности рассматриваемой проблемы. Рассмотрены предлагаемые методы защиты зданий от вибрации.

Рассмотрены основные характеристики динамических свойств грунтов, изменение их свойств при динамических воздействиях и проанализированы

модели, применяемые при исследовании динамического воздействия на конструкции и основания. На основе анализа, с учетом нормативных документов, сделан вывод о возможности применения линейно-упругой модели основания при расчете оснований и фундаментов на вибрационное воздействие от автотранспорта.

Во второй главе приводятся результаты экспериментальных исследований вибрационного воздействия автотранспорта на конструкции фундаментов зданий.

Для проведения исследований и постановки натурного эксперимента была выбрана центральная часть города Перми, на которой были определены 20 характерных экспериментальных площадок. В качестве основных факторов, оказывающих влияние на величину параметров колебаний фундаментов зданий, были взяты: расстояние от источника до здания, тип грунта (его динамические характеристики), масса транспортного средства (с учетом нагрузки на наиболее загруженную ось), тип фундамента. На рассматриваемой территории расположены жилые здания постройки 60-80-х годов XX века серий 1-447 и 1-464, наиболее распространенных на территории города Перми. По улицам проходят трассы легкового и грузового транспорта и маршруты общественного транспорта. Предварительный анализ архивных данных показал, что расстояние от края проезжей части до зданий на выбранной территории составляет от 3,5 до 30 м., а площадки сложены наиболее типичными для левобережной части города Перми грунтами – суглинками, глинами, песками и аргиллитами.

Для проведения эксперимента был собран специальный измерительный комплекс, состоящий из датчика – однокомпонентного сейсмического акселерометра ВС 130, аккумулятора, внешнего модуля аналого-цифрового преобразователя (АЦП) Е14-440 М «L-Card» и ноутбука (рисунок 1). Дальнейшая обработка полученных измерений производится на ноутбуке с помощью программы «L-Graph».



Рисунок 1- Комплекс оборудования в рабочем положении

1 - ноутбук, 2 - датчик, 3 - аккумулятор, 4 - внешний модуль АЦП/ЦАП

При выполнении работ датчик устанавливался на наружной стене здания (как правило, в уровне обреза фундамента), обращенной к магистрали, в двух

положениях – вертикальном и горизонтальном, перпендикулярном плоскости стены здания. При этом фиксировался проход одиночного транспортного средства. Замеры проводились при движении транспорта по ближайшей к зданию полосе, при этом по другим полосам движения транспорта не было. Все было проведено порядка 1000 опытов с 3-кратной минимальной повторяемостью.

В результате проведения натурного эксперимента были получены данные и построены графики зависимости величины виброускорения от рассматриваемых факторов. Ниже приведены примеры полученных графиков – график зависимости виброускорения от нагрузки на ось при различной ориентации относительно проезжей части (рисунок 2) и различных типах фундаментов (рисунок 3). В полном объеме полученные графики приведены в тексте диссертации.

Экспериментально установлено, что наблюдается прямая зависимость величины виброускорения от нагрузки на ось (рисунки 2 и 3). Значения, полученные для разных типов грунтов, отличаются при прочих равных условиях. На величину виброускорения влияет расположение здания относительно магистрали: меньшее влияние вибрации оказывается при расположении здания перпендикулярно проезжей части (рисунок 2). Определено, что здания на свайных фундаментах меньше подвержены вибрационному воздействию по сравнению со зданиями на фундаментах мелкого заложения (рисунок 3).

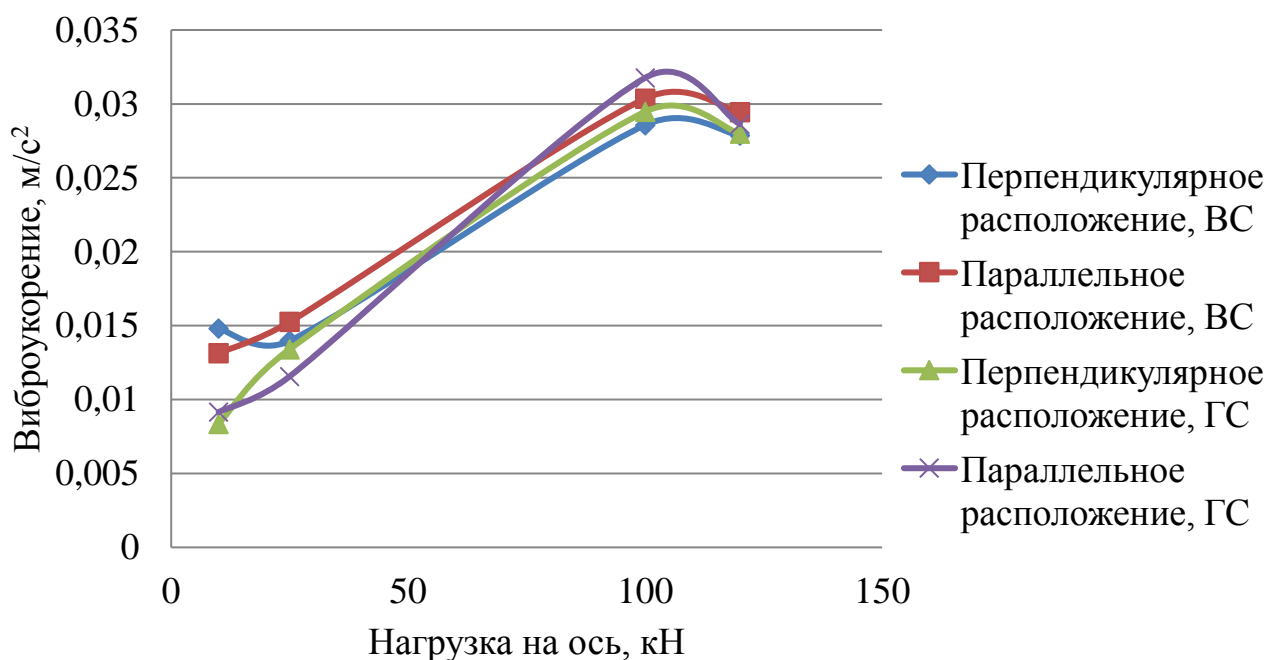


Рисунок 2 – Зависимость виброускорения от нагрузки на ось при различной ориентации здания относительно проезжей части

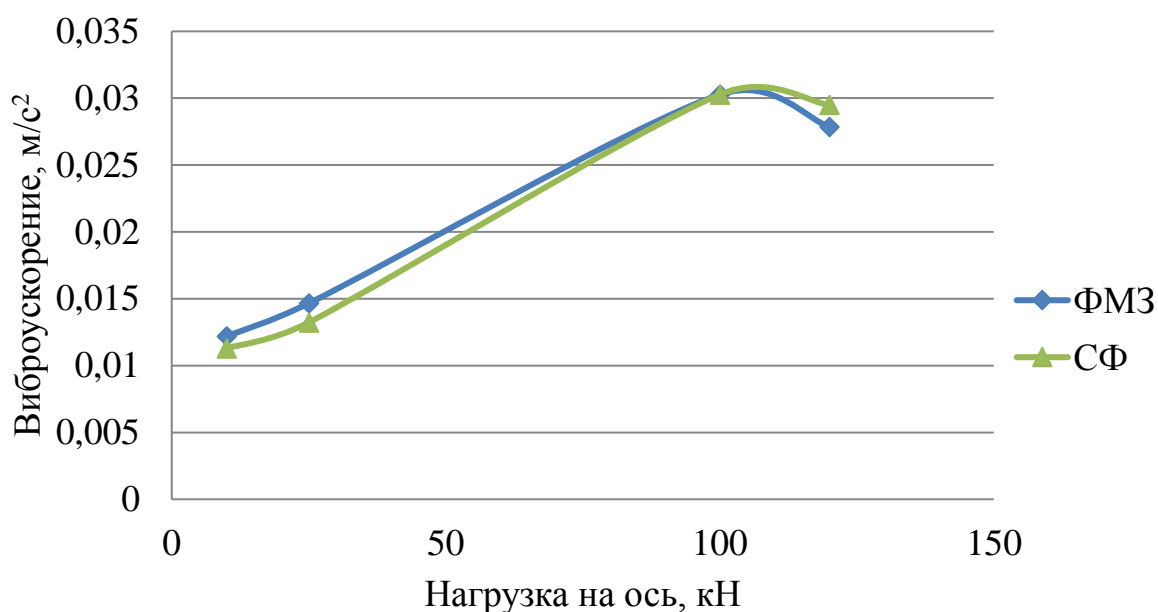


Рисунок 3 – Зависимость виброускорения от нагрузки на ось при различных типах фундаментов

ФМЗ – фундамент мелкого заложения, СФ – свайный фундамент

В третьей главе приводятся результаты численного моделирования вибрационного воздействия автотранспорта на конструкции фундаментов зданий. Основной задачей главы было создание численной модели для исследования колебаний конструкций фундаментов при вибрационном воздействии, вызываемом проходящим автотранспортом. Для этого был выбран программный комплекс GeoStudio, модуль Quake/W которого предназначен для выполнения расчетов на сейсмическое воздействие.

В основе создания численной модели в программном комплексе лежит метод конечных элементов. В качестве модели грунта принята линейно-упругая модель (Linear-Elastic model), так как она проста в применении и хорошо изучена, другие модели более сложны в применении и требуют получения дополнительных характеристик грунтов.

Характеристики грунтов оснований исследуемых фундаментов жилых зданий представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики грунтов основания

Тип грунта основания	Число пластичности, I_p	Плотность, ρ , г/см ³	Удельный вес, γ , кН/м ³	Коэффициент Пуассона, ν	Коэффициент демпфирования ξ	Скорость, V_s , м/с	Упругий модуль сдвига, G_0 , МПа
Суглинок	12,7	1,95	19,12	0,15	0,415	130	32,32
Песок	-	1,66	16,12	0,13	0,502	120	23,90

Тип грунта основа- ния	Число пластич- ности, I_p	Плот- ность, ρ , г/см ³	Удель- ный вес, γ , кН/м ³	Коэффи- циент Пуассо- на, ν	Коэф- фициент демпфи- рования ξ	Ско- рость, V_s , м/с	Упругий модуль сдвига, G_0 , МПа
Аргилли т	19,5	2,01	19,69	0,11	0,495	140	38,46
Глина	19,94	1,80	17,66	0,16	0,333	150	39,74

При проведении тестового численного моделирования расчеты выполнялись с применением указанных в РСН 66-87 «Методические рекомендации по определению состава, состояния и свойств грунтов сейсмоакустическими методами» значений скоростей упругих волн в грунте. Однако анализ полученных данных показал, что получаемые при этом значения виброускорения не описывают реальную картину, т.к. значительно отличаются от данных натурного эксперимента. Поэтому для получения действительных значений скоростей был применен метод многоканального анализа поверхностных волн (МАПВ), что позволило получить реальные значения характеристик грунта. Для регистрации колебаний поверхностных волн использовалась 24-канальная телеметрическая сейморазведочная система ТЕЛСС-3, данные обрабатывались с помощью программного комплекса ParkSEIS 2015.

При выполнении численного моделирования вибрационная нагрузка прикладывалась в точках, определенных заранее как узловые, кроме этого задавались расчетные точки, т.е. точки, параметры колебаний которых будут в дальнейшем фиксироваться. Также в модель вводился фундамент в виде конструкционного элемента, на который действует вертикальная нагрузка от вышележащих конструкций здания.

В работе моделировалось динамическое воздействие от одиночного движущегося автомобиля в момент проезда его мимо фиксируемой точки. В принятой схеме рассматривается задняя ось автомобиля с учетом динамической нагрузки. При такой схеме, в отсутствие других источников, будут возникать детерминированные колебания грунтовой среды. Нагрузка будет иметь треугольный импульсный характер. Для определения времени действия нагрузки необходимо было также установить длину пятна контакта колеса с дорожным полотном.

На рисунке 4 приведен пример расчетной модели для фундамента мелкого заложения.



Рисунок 4 – Расчетная модель для фундамента мелкого заложения

1 – расположение датчика на конструкции фундамента,

2 – точка приложения нагрузки

Для каждого из типов грунтов задавались четыре точки приложения вибрационной нагрузки – в зависимости от рассматриваемого расстояния, например, точка 2 на рисунке 4. По результатам выполненного численного моделирования для каждого типа фундамента были получены зависимости виброускорения от времени.

На основании анализа графиков зависимостей, полученных при натурном эксперименте и в результате численного моделирования был сделан вывод о нелинейности этих зависимостей. Поэтому для описания процессов необходимо применять полное квадратичное уравнение регрессии для трехфакторного эксперимента. Расчеты выполнялись на основании стандартных подходов математической статистики.

В дальнейшем были получены общие и частные уравнения функций для вертикальной и горизонтальной составляющей виброускорений для фундаментов мелкого заложения и свайных фундаментов от исследуемых факторов, которые представлены в тексте диссертации. Например, зависимость вертикальной составляющей виброускорения для фундамента мелкого заложения будет иметь вид:

$$Y_{\text{вс}}^{\text{ФМЗ}} = (0,034328 + 0,108522 \cdot q + 0,045397 \cdot \frac{1}{r} + 0,103403 \cdot V_s + 0,371181 \cdot q^2 + 0,077767 \cdot \frac{1}{r^2} + 0,354072 \cdot V_s^2 + 0,143894 \cdot \frac{q}{r} + 0,328625 \cdot q \cdot V_s + 0,137852 \cdot \frac{V_s}{r}) \cdot 10^{-6} \quad (1)$$

где q – нагрузка на ось, кН,

r – расстояние до источника, м,

V_s – скорость поперечной волны в грунте, м/с.

А уравнение частной зависимости виброускорения от нагрузки на ось имеет вид:

$$y = 3 \cdot 10^{-6} \cdot q^2 + 9 \cdot 10^{-7} \cdot q + 3 \cdot 10^{-7} \quad (2)$$

где q – нагрузка на ось, кН.

Полученные автором зависимости виброускорений от рассматриваемых факторов, позволяют учесть их при проектировании противовибрационных мероприятий.

Было установлено, что для фундаментов мелкого заложения величина вертикальной составляющей колебаний превышает величину горизонтальной. В случае свайных фундаментов – наоборот. Практически не зависят от расстояния от источника до здания вертикальная составляющая для фундаментов обоих типов и горизонтальная составляющая для свайного фундамента. При любых грунтовых условиях и расстояниях при обоих типах фундаментов наблюдается прямая зависимость полученных значений виброускорений от нагрузки на ось.

В четвертой главе приведена предлагаемая автором методика снижения вибрационного воздействия автотранспорта на жилую застройку.

В результате проведения натурных и численных экспериментов были получены значения величины виброускорения от исследуемых факторов. На рисунке 5 в качестве примера приведено сравнение результатов натурного эксперимента и численного моделирования – график зависимости виброускорения от нагрузки на ось для фундамента мелкого заложения на грунтовом основании из песка при расстоянии до источника вибрации 12,9 м. Аналогичные графики приведены в диссертационной работе.

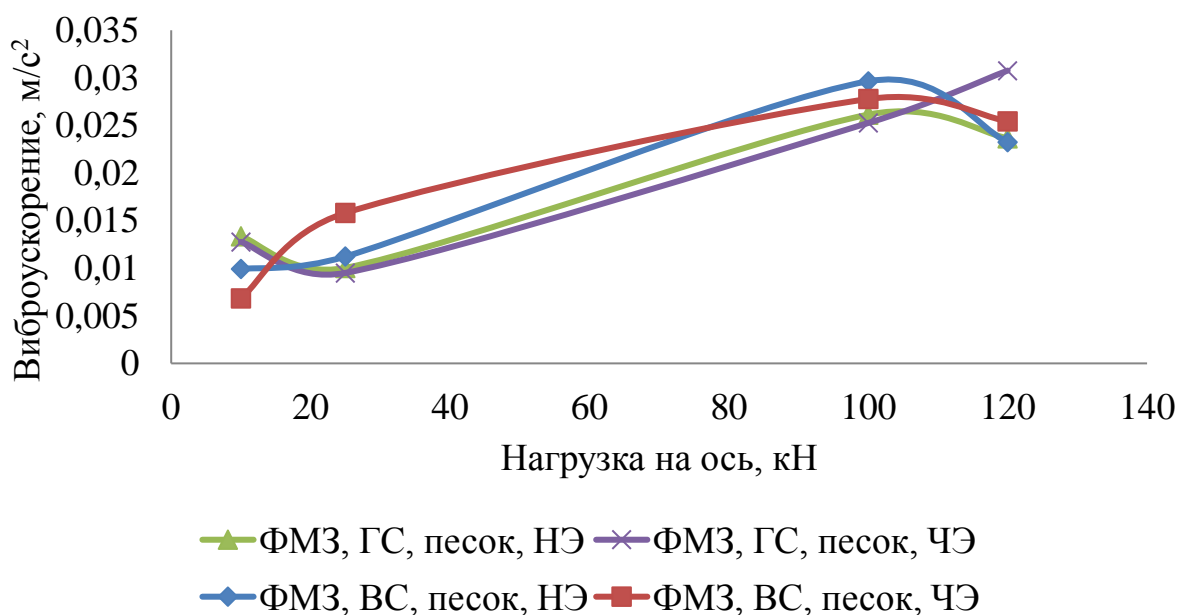


Рисунок 5 - Сравнение результатов натурного эксперимента и численного моделирования. График зависимости виброускорения от нагрузки на ось для фундамента мелкого заложения при основании из песка при расстоянии до источника 12,9 м

ВС – вертикальная составляющая, ГС – горизонтальная составляющая,
НЭ – натурный эксперимент, ЧЭ – численное моделирование

Сравнение полученных данных показало, что расхождение расчетных значений и натурных наблюдений составляет не более 30 %, что говорит о хорошей

сходимости результатов и возможности применения предложенной модели и полученных зависимостей для расчетов виброускорения фундаментов зданий.

Полученные при натурном и численном моделировании значения виброускорения значительно ниже допустимых величин, указанных в нормативных документах. Однако колебания могут ощущаться находящимися в здании людьми. Кроме этого, за время эксплуатации здания могут накапливаться и суммироваться негативные последствия, что может привести к нарушению работы конструкций фундаментов и оснований. Поэтому, по нашему мнению, необходимо предусмотреть методы, позволяющие снизить уровень вибрации.

Определение параметров колебаний фундаментов жилых зданий может производиться в двух случаях. В первом случае необходимо определить вибрационное воздействие в условиях существующей застройки. Во втором случае определяется воздействие при проектировании застройки.

Первый случай. При защите *существующего* здания от воздействия транспорта, движущегося по существующей улице, предлагается следующая методика выполнения проектных работ:

1. Определяется расстояние от оси крайней полосы до наружной стены здания, расположенной вдоль магистрали.

2. Определяются грунтовые условия площадки и характеристики грунтов.

3. Определяется нагрузка на наиболее загруженную ось транспортных средств, движение которых разрешено на рассматриваемом участке улицы.

4. На наружной стене здания, как можно ближе к обрезу фундамента, устанавливается датчик или датчики. При длине фасада до 12 м устанавливается один датчик посередине стены на высоте не более 15 см от поверхности земли. При длине более 12 м датчик устанавливается в трех точках – по углам и в середине стены, также на уровне 15 см от поверхности земли. Рекомендуется применять 3-компонентные датчики, которые позволяют одновременно производить измерения по всем трем осям.

5. Производятся замеры при движении транспортных средств с различной нагрузкой на ось. Измерения проводятся при движении транспортных средств по ближайшей к зданию полосе при проходе транспорта напротив датчика. Количество измерений для каждого вида транспорта в каждой точке установки – не менее 3-х.

6. Обрабатываются результаты и определяется среднее максимальное значение виброускорения для каждого вида транспорта. Полученные результаты сравниваются с допустимыми значениями, которые зависят от конкретной задачи снижения вибрации (воздействие на человека, защита оборудования, сохранение пространственной жесткости здания, ограничение осадок здания).

7. При превышении допустимых значений рассматриваются методы снижения уровня вибрации.

8. Проводится расчет по частным зависимостям виброускорения с учетом существующей застройки.

9. Корректируются выбранные методы защиты.

Второй случай. При рассмотрении вопросов о необходимости защиты от вибрации при проектировании *вновь строящихся* объектов предлагается следующая методика выполнения проектных работ:

1. Определяется расстояние от оси крайней полосы до наружной стены здания, расположенной вдоль магистрали.

2. Определяются грунтовые условия площадки и характеристики грунтов (плотность, удельный вес, коэффициент Пуассона, скорость поперечной волны в грунте).

3. Определяется нагрузка на наиболее загруженную ось транспортных средств, движение которых разрешено на рассматриваемом участке улицы.

4. Выполняется моделирование вибрационного воздействия с учетом типа проектируемого фундамента, инженерно-геологических условий площадки, нагрузки на наиболее загруженную ось и расстояния от здания до проезжей части.

5. Определяются максимальные значения виброускорения и сравниваются с допустимыми значениями, которые зависят от конкретной задачи снижения вибрации (воздействие на человека, защита оборудования, сохранение пространственной жесткости здания, ограничение осадок здания).

6. При превышении допустимых значений рассматриваются методы снижения уровня вибрации.

7. Проводится расчет по частным зависимостям виброускорения с учетом выбранного метода.

8. Корректируются выбранные методы защиты.

Блок-схемы алгоритмов методики выполнения проектных работ, а также пример расчета приведены в тексте диссертации.

В настоящее время нормирование параметров вибрации определено для защиты от вибрации людей, находящихся в зданиях, защиты виброчувствительного оборудования, сохранения пространственной жесткости зданий. Кроме этого, при динамическом воздействии рассчитываются дополнительные осадки здания. Для транспортной вибрации установленных норм нет, за исключением санитарных. Поэтому автором для предварительной оценки вибрационного воздействия от автотранспорта на основе выполненных экспериментальных исследований и численного моделирования предлагается ограничение величины виброускорения с учетом технической категории состояния здания (таблица 2).

Таблица 2 – Допустимые значения виброускорения и виброскорости

Категория технического состояния здания (по ГОСТ 31937-2011)	Виброскорость, мм/с	Виброускорение, м/с ²
I – нормативное	10	0,25
II – работоспособное	5	0,125
III – ограниченно-работоспособное	2	0,05
IV аварийное	Не допустимо	

3. ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. При проведении натурного эксперимента были получены экспериментальные данные, на основании анализа которых выделены факторы, влияющие на величину виброускорения конструкции фундамента зданий: тип фундамента, расстояние от здания до источника, нагрузка на наиболее загруженную ось транспортного средства, грунтовые условия (скорость распространения продольной волны в слое).

2. В результате проведения численного моделирования для свайных фундаментов и фундаментов мелкого заложения получены общие и частные зависимости величины горизонтальной и вертикальной составляющей виброускорения от расстояния до источника, нагрузки на ось и инженерно-геологических условий площадки.

3. Анализ зависимостей показал, что наблюдается прямая связь величины виброускорения от нагрузки на ось и грунтовых условий. При этом свайные фундаменты меньше подвержены вибрационному воздействию по сравнению с фундаментом мелкого заложения. Для обоих типов фундаментов величина вертикальной составляющей колебаний превышает величину горизонтальной.

4. Выявлено, что при расположении здания параллельно проезжей части величина виброускорения колебаний фундамента больше, чем при перпендикулярном расположении здания относительно проезжей части.

5. На основании анализа полученных результатов и общих и частных зависимостей величины виброускорения от типа грунта, массы транспортного средства и расстояния до источника предложена методика выполнения проектных работ для снижения вибрационного воздействия на фундаменты жилых зданий.

6. Для предварительной оценки вибрационного воздействия от автотранспорта предлагается ограничение величины виброускорения с учетом технической категории состояния здания.

4. ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в ведущих рецензируемых научных журналах:

1. Шутова, О. А. Анализ возможности применения программного комплекса GeoStudio Quake/W для моделирования техногенной вибрации / О. А. Шутова, А. Б. Пономарев // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2016. – № 3. – С. 59-64.
2. Антипов, В. В. Исследование верхней части разреза грунтовой толщи экспресс-методами волнового анализа / В. В. Антипов, В. Г. Офрихтер, О. А. Шутова // Вестник Московского государственного строительного университета. – 2016. – № 12. – С. 44-60.
3. Антипов, В. В. Численное моделирование динамического воздействия от одиночного транспортного средства на существующее здание / В.В. Антипов, В.Г. Офрихтер, А. Б. Пономарев, О. А. Шутова // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2017. – № 3(41). – С. 131-138.
4. Шутова, О. А. Применение неразрушающих методов определения механических характеристик грунта при численном моделировании динамических воздействий

на существующее здание / О. А. Шутова, А. Б. Пономарев, В. В. Антипов, В. Г. Офрихтер // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2017. – № 1. – С. 74-78.

5. Шутова, О. А. Численное моделирование вибрационного воздействия автотранспорта на фундаменты зданий / О. А. Шутова, А. Б. Пономарев // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2018. – № 1. – С. 93-102.

В других изданиях:

1. Пономарев, А. Б. К проблеме воздействия транспортной вибрации на городскую застройку / А. Б. Пономарев, О. А. Шутова // Строительная наука и техника. – 2008. – № 5. – С. 96-98.

2. Шутова, О. А. Воздействие вибрации на городскую застройку / О. А. Шутова // Строительство, архитектура. Теория и практика : тезисы докладов аспирантов, молодых ученых и студентов на науч.-практ. конф. строительного факультета (4-5 декабря 2007 г.). – Пермь : Изд-во ПГТУ, 2008. – С. 154-157.

3. Шутова, О. А. К вопросу о воздействии транспортной вибрации на свойства грунтов и конструкций / О. А. Шутова, А. Б. Пономарев // Актуальные научно-технические проблемы современной геотехники: межвуз. сб. тр. : в 2 т. Т. 2 – СПб: СПбГАСУ, 2009. – С. 177-188.

4. Шутова, О. А. Исследование вибрационного поля города / О. А. Шутова // Молодежная наука Прикамья. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2010. - Вып. 11. - С. 386-389.

5. Пономарев, А. Б. Анализ оборудования для измерения транспортной вибрации / А. Б., Пономарев, О. А. Шутова // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2011. – № 1. – С. 62-63.

6. Волков, Е. А. Анализ результатов тестового эксперимента по исследованию вибрации, создаваемой автотранспортом на территории города / Е. А. Волков, П. А. Третьякова, О. А. Шутова // Вестник ПГТУ. Строительство и архитектура. – 2011. – № 1. – С. 15-20.

7. Шутова, О. А. Распространение волн при вибрационном воздействии транспорта / О. А. Шутова, А. Б. Пономарев // Строительство и архитектура. Опыт и современные технологии : сетевое изд. : сб. науч. ст. – Пермь: ПНИПУ, 2012. – Вып. 1. – Режим доступа: <http://sbornikstf.pstu.ru/council/?n=&s=15>

8. Пономарев, А. Б. Анализ вибрационного воздействия от автотранспорта на жилых территориях / А. Б. Пономарев, О. А. Шутова // Строительство и архитектура. Опыт и современные технологии : сетевое изд. : сб. науч. ст. – Пермь: ПНИПУ, 2013. – Вып. 2. – Режим доступа: <http://sbornikstf.pstu.ru/council/?n=2&s=143>

9. Пономарев, А. Б. Исследование вибрационного воздействия автотранспорта на фундаменты зданий в условиях плотной городской застройки / А. Б. Пономарев, О. А. Шутова // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. – 2013. – Вып. 2(27). – Режим доступа: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/PonomarevShutova-2013_2\(27\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/PonomarevShutova-2013_2(27).pdf)

10. Пономарев, А. Б. Проведение эксперимента по изучению транспортной вибрации на территории города Перми / А. Б. Пономарев, О. А. Шутова // Сборник

научных статей конференции «Геотехника: теория и практика». – СПб.: СПбГАСУ, 2013. – С. 116-119.

11. Шутова, О. А. Анализ результатов исследования вибрации конструкций фундаментов, вызываемой автотранспортом, на примере центральной части г. Перми / Шутова О. А. // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. – 2014. – № 4. – С. 41-44.

Подписано в печать 26.09.2018

Формат 60x84 1/16 Объем 1,0 уч. – изд.л

Тираж 120 экз.

Отпечатано в Центре «Издательство ПНИПУ»,
614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29