

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Пермский национальный исследовательский политехнический университет

На правах рукописи



Шутова Ольга Александровна

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

05.23.02 – Основания и фундаменты, подземные сооружения

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Пономарев Андрей Будимирович

Пермь - 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Глава 1. Анализ современного состояния исследования вибрации оснований и фундаментов зданий в условиях плотной городской застройки.....	9
1.1 Общие сведения. Требования нормативных документов.....	9
1.2 Экспериментальные исследования вибрационного воздействия на городскую застройку.....	17
1.3. Основные характеристики динамических свойств грунтов. Изменение свойств грунтов при динамических воздействиях.....	20
1.4. Модели, применяемые при исследовании динамического воздействия на конструкции и основания.....	23
1.5 Методы виброзащиты зданий.....	26
1.6 Выводы по главе и задачи исследования.....	28
Глава 2. Экспериментальные исследования вибрационного воздействия автотранспорта на конструкции фундаментов зданий.....	30
2.1 Общие положения.....	30
2.2 Тестовый эксперимент.....	31
2.2.1 Задачи тестового эксперимента.....	31
2.2.2 Описание геологических условий и площадки эксперимента....	32
2.2.3 Описание измерительной аппаратуры.....	34
2.2.4 Методика проведения тестового эксперимента	36
2.2.5 Результаты тестового эксперимента.....	39
2.3 Натурный эксперимент.....	41
2.3.1 Описание площадок исследования.....	42
2.3.2 Инженерно-геологические условия площадок.....	52
2.3.3 Методика проведения натурального эксперимента.....	62
2.4 Анализ полученных данных.....	68
2.5 Выводы по главе.....	70

Глава 3. Численное моделирование вибрационного воздействия автотранспорта на конструкции фундаментов зданий.....	71
3.1 Цели и задачи численного моделирования.....	71
3.2 Описание программного комплекса GeoStudio Quake/W.....	72
3.3 Выбор значений параметров моделирования.....	76
3.4 Расчетные схемы проезжающего автомобиля.....	81
3.5 Планирование численного моделирования.....	84
3.6 Результаты численного моделирования.....	91
3.7 Выводы по главе.....	98
Глава 4. Рекомендации по снижению вибрационного воздействия автотранспорта на жилую застройку.....	100
4.1. Анализ результатов натурного и численного эксперимента.....	101
4.2. Методика определения виброускорения колебаний.....	107
4.3 Методы снижения уровня вибрации.....	113
4.4 Выводы по главе.....	116
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	117
Список литературы.....	119
Приложение А. Поперечные профили улиц на исследуемых участках.....	129
Приложение Б. Результаты численного моделирования. Моделирование натуральных площадок. Графики зависимости виброускорения от рассматриваемых параметров.....	137
Приложение В. Результаты численного моделирования. Матрицы результатов расчетов	141
Приложение Г. Результаты численного моделирования. Зависимости виброускорения от рассматриваемых факторов.....	152
Приложение Д. Результаты расчета параметров исследуемых функций.....	159
Приложение Е. Справка о внедрении результатов научно-исследовательской работы.....	176

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. 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., Герсевановым Н.М., Ильичевым В.А., Курбацким Е.Н., Нуждиным Л.В., Савиновым О.А., Ставницером Л.Р., Тер-Мартirosяном А.З., Уздиным А.М. и другими.

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

Методы снижения сейсмического и динамического воздействия на сооружения рассматривались Габибовым 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 снижения 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.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в разработке методики расчета величины виброускорения с учетом грунтовых условий площадки, 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.

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.

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;
4. Полученные экспериментально зависимости величины виброускорения от рассматриваемых параметров.
5. 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.

Автор выражает глубокую благодарность и признательность научному руководителю зав. кафедрой «Строительное производство и геотехника» ПНИПУ, профессору, д.т.н. Пономареву А.Б. за советы и замечания в ходе выполнения работы. Автор благодарит за помощь, оказанную во время проведения работы, руководство и сотрудников НПП «ТИК», г. Пермь; профессора, д.т.н. Офрихтера В.Г., ассистента кафедры Антипова В.В., студента Шагиева А.А., а также всех сотрудников кафедры СПГ ПНИПУ за помощь и поддержку в период работы над диссертацией.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВИБРАЦИИ ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЙ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

1.1. Общие сведения. Требования нормативных документов

Территория любого населенного пункта является очагом техногенных нагрузок, к которым относятся электрическое, магнитное, шумовое, вибрационное поля.

Вибрационное поле складывается из различных динамических нагрузок, источниками которых являются: строительная техника, машины и механизмы, железнодорожный и другой рельсовый транспорт, автотранспорт.

Согласно [24] передаваемая (через грунт) вибрация – вибрация, создаваемая при прохождении транспортного средства, распространяющаяся в виде сейсмических волн по земной поверхности или через искусственные конструкции и воздействующая на сооружения.

Таким образом, под вибрацией понимается вынужденное механическое колебание, передаваемое через геологическую среду на объект. При этом геологическая среда является основанием фундамента объекта. Если в основании расположены слабые грунты, то в них возможны изменения структуры и, как следствие, деформация толщи грунта и построенных на ней сооружений.

Изучение проблемы ведется в двух направлениях: исследования, связанные с динамикой грунтов; исследование динамики конструкций.

Исследования динамических воздействий на грунт проводятся с начала 20-х годов прошлого века. Наибольший вклад в изучение проблемы внесли Алимов С.Г., Баркан Д.Д., Берлинов М.В., Вознесенский Е.А., Герсеванов Н.М., Голованов Р.О., Ильичев В.А., Исмагилова З.Ф., Ковальчук О.А., Курбацкий Е.Н.,

Маринченко Е.В., Моторин В.В., Наумов Б.В., Нуждин Л.В., Савинов О.А., Ставницер Л.Р., Титов Е.Ю., Уздин А.М. и др.

Основоположником исследований в области динамики грунтов можно считать Герсеванова Н.М., который еще в 30-х годах XX века издал труд «Основы динамики грунтовой массы» [21]. Первой работой, посвященной динамическому воздействию на фундаменты механизмов, стала работа Баркана Д.Д. «Расчет и проектирование фундаментов под машины с динамическими нагрузками» [14]. Продолжил исследования в области динамического воздействия на фундаменты механизмов Савинов О.А. [57]. В разные годы исследования проводились Ильичевым В.А. [29], Курбацким Е.Н. [34], Нуждиным Л.В. [42], Ставницером Л.Р. [63], Тер-Мартirosяном А.З. [67], Уздиным А.М. [71].

Большой вклад в развитие исследований свойств грунтов при динамическом (в частности – сейсмическом) воздействии внес Ставницер Л.Р. В его работах [64-66] приводятся результаты экспериментальных и теоретических исследований влияния сейсмических колебаний на прочностные свойства грунтов и устойчивость оснований.

Исследования в области распространения волн в грунте и разработка расчетных методик определения уровней вибраций внутри тоннелей метрополитенов и на прилегающих территориях выполнялись при участии В.А. Ильичева [30] и Е.Н. Курбацкого [33]. Результатом обобщения проведенных исследований стала разработка ВСН 211-91 «Прогнозирование уровней вибраций грунта от движения метропоездов и расчет виброзащитных строительных устройств» [19].

Среди исследований, посвященных анализу взаимодействия свайных фундаментов с основанием при динамических воздействиях, следует отметить работы Нуждина Л.В. [43-44], которые показывают, что в процессе колебаний происходит нарушение контакта между подошвой ростверка и грунтом.

Методы устройства фундаментов, позволяющие снизить сейсмическое и динамическое воздействие на здания и сооружения, рассмотрены в работах Габиева Ф.Г. [54], Мариничева М.Б. [37]. Применение армирования основания

для защиты от различного рода динамических воздействий рассмотрены в работах Скворцова Е.П. [47, 58] и Мариничева М.Б. [38].

Что касается транспорта, то в настоящее время наиболее подробно изучены воздействия, вызываемые динамическими механизмами и оборудованием, предложены параметры оценки влияния и методы расчета и прогноза [62]. Проводятся исследования в области устройства свайных фундаментов. Также предложены методы оценки влияния строительства на существующую застройку [61].

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. Улично-дорожная сеть в исторической части города обычно сохраняется еще с момента начала планирования и строительства населенного пункта. Но за годы существования такой улицы изменился и состав транспортного потока, и масса транспортных средств, и интенсивность потока. Старинные улицы превращаются в оживленные транспортные магистрали, при этом состав элементов улицы и их ширина в «красных линиях» нередко остаются без изменений из-за отсутствия возможности расширения. Здания на таких улицах расположены близко к проезжим частям, часто отделены от них лишь тротуаром. Причем новые здания также строятся вдоль существующих «красных линий», без учета требований нормативных документов.

Проведенные ранее исследования показали, что вибрация от автотранспорта действует на расстоянии 10-15 м [35], а именно на таком расстоянии от края проезжей части нередко в старых частях городов располагаются здания. Кроме этого, основная часть колебательной энергии от источников переносится поверхностными волнами, распространяющимися в пределах верхней части

грунтовой толщ (10-15 м), поэтому в сфере воздействия поля вибрации оказываются фундаменты зданий и сооружений, коммуникации.

В настоящее время нормативными документами эти параметры нормируются в основном с учетом воздействия вибрации на человека [59, 70]. В разделе 6.13 «Особенности проектирования оснований сооружений, возводимых вблизи источников динамических воздействий» СП 22.13330.2016 «Основания и фундаменты» [60] указано, что «Проектирование оснований сооружений должно осуществляться с учетом возможных динамических воздействий:

- а) стационарного оборудования с динамическими нагрузками, установленного в существующих и проектируемых сооружениях;
- б) автомобильного и железнодорожного транспорта и метрополитена;
- в) строительного оборудования;
- г) прочих источников (взрывные работы и т.д.)».

Однако данный нормативный документ рассматривает вопросы проектирования фундаментов для нового строительства или при реконструкции зданий, но не приводит условия проверки фундамента существующего здания на динамическое воздействие.

Исследования, проведенные ранее [35], показали, что скорости колебаний грунта от воздействия автотранспорта меньше приведенных, поэтому расчеты оснований и фундаментов не проводятся. Вибрационное воздействие от автотранспорта учтено лишь в ГОСТ Р 52892-2007 «Вибрация и удар. Вибрация зданий. Измерение вибрации и оценка ее воздействия на конструкцию» [26].

Анализ российской прессы и научных изданий показал, что в последние годы в разных городах проводились технические обследования исторической застройки, в результате которых были выявлены дефекты, причиной которых является транспортная вибрация. Такие работы проводились, например, в Самаре, Санкт-Петербурге, Ростове-на-Дону, Воронеже, Тамбове и других городах. Все работы были посвящены исследованию воздействия вибрации на исторические здания. Наибольшее значение в данной области имеет работа С.Г. Алимова [2].

Исследования осадок зданий в центральной части города, которые проводились в Санкт-Петербурге в 2012-2014-х годах [17], показали, что осадка зданий, расположенных вблизи каналов и городских магистралей больше, чем осадка зданий, находящихся в глубине квартала. На основании этого можно говорить о том, что несмотря на небольшие (относительно других источников вибрации) величины параметров вибрации автотранспорт может влиять на осадку зданий и сооружений.

Однако масштабные работы по вибрационному мониторингу выполняются крайне редко. Все проведенные работы касаются только исторических зданий постройки до 1960-х годов. Нет данных по обследованию зданий постройки 1960-2000-х годов. Полученные результаты не систематизированы, не обобщены. Нет методов, позволяющих прогнозировать воздействие транспорта на здание еще до его постройки или до строительства улицы. Поэтому изучение воздействия вибрации на городскую застройку актуально в настоящее время.

Наряду с оценкой вибрации с точки зрения физиологического воздействия на человека и технологических требований к оборудованию в ряде стран оценивается уровень вибрации, при котором не нарушаются эксплуатационные свойства сооружений. Для такой оценки используются в основном методы, основанные на непосредственном измерении вибрации и использовании сейсмических шкал. Указанные в шкалах уровни – эмпирические, они устанавливаются приближенно по результатам измерения вибраций, вызываемых взрывом [73].

В качестве нормируемого параметра принимается скорость колебаний. В большинстве норм определяющим параметром считается скорость колебания грунта. Она нормируется в зависимости от типа сооружения, основной частоты вибрационного воздействия, характера возможных повреждений и т.д. [73].

В ряде стран разработаны документы, нормирующие вибрационное воздействие на конструкции. Например, в таблице 1.1 приведены параметры колебаний для различных зданий принятые в стандартах Польши и Чехии [73], а в таблице 1.2 – в стандарте Германии [78].

Таблица 1.1 – Допустимые уровни вибрации (нормативы Польши и Чехии)

Класс вибро-стойкости сооружений	Характерные признаки сооружений	Частотный диапазон, Гц	Допустимые значения параметров затухающих колебаний		Допустимые значения параметров установившихся колебаний	
			Ускорение, мм/с ²	Скорость, мм/с	Ускорение, мм/с ²	Скорость, мм/с
А	Здания с видимыми повреждениями, с трещинами в штукатурке, постройки из необработанного камня, пустотелых блоков с вяжущим материалом низкой несущей способности	1-10	125	-	63	-
		10-100	-	2	-	1
В	Обычные здания кирпичной кладки, постройки из блоков, из обработанного камня, фахверки. Постройки в хорошем состоянии, без повреждений	1-10	250	-	150	-
		10-100	-	4	-	2,5
С	Жесткие сооружения в хорошем состоянии (качественно выполненные здания с железобетонным каркасом, металлоконструкции, высококачественные деревянные конструкции и т.д.)	1-10	630	-	380	-
		10-100	-	10	-	6

Таблица 1.2 – Допустимые уровни вибрации (по DIN 4150-3-2016)

Тип сооружения, фундамент при частоте, Гц	Допустимая виброскорость, мм/с			Покрытие верхнего этажа для всех частот
	10	10-50	50-100	
Строения, используемые как административные и промышленные здания	20	20-40	40-50	40
Оштукатуренные сооружения, жилые дома и присоединенные конструкции	5	5-15	15-20	15

Как уже было сказано выше, в России был принят ГОСТ Р 52892-2007 «Вибрация и удар. Вибрация зданий. Измерение вибрации и оценка ее воздействия на конструкцию» [26]. Кроме этого, в 2013 году издательство МГСУ выпустило «Руководство для проектировщиков к EN 1997-1. Еврокод 7. Геотехническое проектирование - общие правила» [56]. Таким образом, можно сделать вывод, что в последнее время изучению вибрационного воздействия на застройку уделяется больше внимания.

К проблеме, связанной с изучением вибрации конструкций и оснований можно отнести то, что в нормативной документации не приводятся параметры, оказывающие наибольшее влияние на конструкции и основания, и их характеристики. Поэтому также необходимо определить наиболее значимые параметры и их характеристики. Например, к характеристикам, которые теоретически могут влиять на параметры отклика конструкций, могут быть отнесены следующие:

1. для зданий: конструктивная схема, материал конструкций, этажность, тип фундамента, расположение здания по отношению к магистрали (на перекрестке, на перегоне, вдоль магистрали, перпендикулярно магистрали);

2. для транспортной магистрали: состав улицы в пределах красной линии, расстояние от магистрали до здания; уклон улицы – величина, направление (подъем или спуск); тип покрытия, скорость потока, интенсивность потока, состав потока, наличие светофоров, наличие «пробок», состояние покрытия;

3. для транспортного средства: масса транспортного средства, количество осей, нагрузка на ось;

4. для грунтов основания (по аналогии с характеристиками, приведенными в приложении А [24]): геологический профиль местности (слоистость, наклон слоев, границы слоев), уровень грунтовых вод, динамические свойства грунта для малых деформаций (модуль сдвига, коэффициент Пуассона, плотность, скорости волн сдвига и сжатия, коэффициент потерь и вид демпфирования), неоднородности техногенной природы (трубы, сваи, углубленные фундаменты, земляные работы), неоднородности естественной природы (сдвиг породы, трещиноватость, пустоты, слоистость, анизотропия, включения, свободная поверхность), сезонные особенности (промерзающий грунт, изменение свойств грунта и содержания влаги).

При исследовании необходимо выявить параметры, оказывающие наибольшее влияние на вибрацию конструкций, определить закономерность изменения параметров вибрации в зависимости от этих характеристик. Полученные зависимости позволят прогнозировать вибрационное воздействие при проектировании здания или улицы.

Также необходимо определить оптимальные методы снижения вибрации в уже построенных зданиях, а также мероприятия, которые можно проводить при реконструкции улиц.

В целом следует отметить, что проведение масштабного мониторинга транспортной вибрации и составление соответствующих схем зонирования территории позволит определить градостроительную и экономическую ценность

участка, а также возможность развития городских территорий в данном направлении.

Основными параметрами, позволяющими оценить влияние вибрации, являются виброскорость, виброускорение и виброперемещение конструкций. Однако в нормативной литературе в качестве нормируемых значений приводится обычно виброскорость или виброускорение.

1.2. Экспериментальные исследования вибрационного воздействия на городскую застройку

Анализ диссертационных работ показал, что изучение воздействия вибрации на городскую застройку ведется достаточно интенсивно. При этом исследуются воздействия от всех типов источников вибрации – строительной техники и устройства свайных фундаментов, промышленного оборудования и транспорта. При изучении транспортной вибрации в основном упор делается на железнодорожный транспорт и метрополитен.

Ниже приведены работы, посвященные изучению вибрационного воздействия на основания и конструкции зданий, а также методам защиты от такого воздействия.

Моториным В.В. [40] исследовано применение виброизоляторов для защиты зданий от вибрации метрополитена. В результате выполнения исследований получены характеристики виброизоляторов с учетом реальных условий нагружения. С помощью полученных в работе новых расчетных соотношений была разработана унифицированная линейка силовых виброизоляторов для зданий и сооружений в диапазоне нагрузок 150 - 2000 кН (15 - 200 тс) с определением всех их статических и динамических характеристик, предложен новый способ отсроченного монтажа виброизоляторов для зданий и сооружений и его конструктивное оформление для основных типов несущих конструкций зданий, предложены конструкции виброзащиты основных конструктивных элементов здания.

Голованов Р.О. [22] разработал методику комплексных натурных динамических исследований зданий и сооружений. В работе изучены вопросы влияния конструктивных изменений в зданиях на их динамические характеристики, показаны возможности интегральной оценки состояния зданий и сооружений по изменениям их динамических характеристик, проведено исследование по адаптации расчетных схем строительных конструкций к реальным условиям их работы на основании данных натурных экспериментов по изучению их динамических характеристик.

В работе Ковальчука О.А. [32] исследовались здания повышенной этажности, расположенные вдоль линий метрополитена. Выявлены закономерности поведения конструкций при прохождении поездов метрополитена. Предложен метод расчета конструкций с помощью МКЭ.

Берлинов М.В. исследовал воздействие вибрации от промышленного оборудования на конструкции из различных материалов [16]. Результатом работы является разработка метода динамического расчета силового сопротивления строительных конструкций на вибрационные воздействия от промышленного и хозяйственного оборудования.

Маринченко Е.В. [39] разработан и реализован алгоритм расчета динамических характеристик отклика элементов здания или сооружения в исправном состоянии и при наличии дефектов на тестовые динамические воздействия МКЭ с использованием технологии подконструкций (суперэлементов).

Титовым Е.Ю. разработаны методов оценки и способов снижения уровней вибраций сооружений вблизи метрополитенов и железнодорожных трасс [69], проведены расчеты и разработана виброзащитная конструкция для здания, расположенного вблизи железнодорожной трассы и линии метрополитена; предложены виброзащитные конструкции для верхнего строения пути в метрополитенах.

В работе, выполненной Наумовым Б.В. [41], определены конструктивные и функциональные параметры ряда конструкций пути, реализующих способ

виброзащиты с использованием пути низкой жесткости, предложена классификация виброзащитных конструкций пути.

Исмагиловой З.Ф. проведено исследование осадки фундаментов в глинистых грунтах при динамической нагрузке [31]. Определены величины и характеристики колебания грунта и фундаментов, влияющих на осадку фундаментов существующих зданий в глинистых фундаментах при динамической нагрузке, и получена формула для определения осадки фундаментов при динамической нагрузке.

Исследованию воздействия транспорта посвящена работа Алимова С.Г. [2]. Проведен экспериментальный мониторинг уровней вибрации зданий-памятников. Установлено, что уровень вибрации конструкций не превышает существующих нормативов, но приближается к ним.

Также периодически проводится мониторинг конструкций зданий для оценки влияния вибрации на появление повреждений конструкций. Например, в 2003 году в Ростове-на-Дону проводился мониторинг частей зданий реконструируемого жилого фонда с ограниченным сроком службы [46]. При проведении исследований определялся уровень воздействия вибрации на основания зданий, выполнялся анализ состояния балконной плиты. В результате проведенной работы получен набор октавных уровней вибрации, виброускорений и амплитуд, создаваемых транспортом, в зависимости от транспортного потока и условий движения. Полученные данные показали, что здания вблизи магистралей испытывают вибрационное воздействие, соответствующее толчкам в сейсмически опасных районах.

Вибрационное воздействие от рельсового и колесного транспорта на прилегающую застройку продолжает исследоваться и зарубежными учеными [78, 80, 85, 86], в том числе с точки зрения воздействия на конструкции зданий.

На основании сказанного выше можно сделать 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.

1.3. Основные характеристики динамических свойств грунтов.

Изменение свойств грунтов при динамических воздействиях

Так как средой, передающей колебания от источника зданию или сооружению, является грунт, то необходимо определить характеристики грунта, влияющие на передачу. Известно, что основными характеристиками динамических свойств грунтов являются [72, 68]:

1. параметры упругих и поглощающих свойств при динамических нагрузках малой интенсивности (не превышающих предела упругости) – модуль упругости, коэффициент Пуассона, коэффициент затухания колебаний, скорость распространения и коэффициент поглощения упругих волн;

2. обобщенные коэффициенты жесткости оснований при равномерном и неравномерном сжатии, равномерном и неравномерном сдвиге и соответственно коэффициенты затухания, используемые в расчетах колебаний жестких массивных фундаментов на упругом основании;

3. характеристики сжимаемости грунтов при динамических нагрузках значительной интенсивности (превышающих предел упругости) – кривые «напряжение-деформация», модули деформации при нагружении и разгрузении;

4. динамические характеристики сопротивляемости деформациям формоизменения (сдвига) и предельного состояния (прочности) грунтов, а также оценка устойчивости их структуры при переходе в разжиженное состояние

В результате проведения исследований по изучению свойств и характеристик грунтов, были выведены следующие закономерности поведения грунта при динамических воздействиях:

1. Уменьшение сопротивления сдвигу при вибрации. Это основной фактор, влияющий на прочностные свойства грунтов.

Г.И. Покровский [52] установил, что коэффициент внутреннего трения грунтов зависит от энергии колебаний, уменьшаясь с их увеличением, но стремясь к некоторому пределу. Для связных грунтов влияние вибрации на сопротивление сдвигу будет тем меньше, чем больше сцепление грунта.

Согласно опытам В.А. Ершова и Се-Дин-И [27], наблюдалось постепенное снижение сопротивления сдвигу песчаных грунтов при вибрациях. Ими была получена зависимость сопротивления сдвигу при динамических нагрузках от сопротивления сдвигу при статических нагрузках и ускорения колебаний.

2. Вибровязкость. Она может быть охарактеризована коэффициентом вибровязкости, который различен для различных грунтов и зависит от относительного ускорения колебаний.

Опыты Д.Д. Баркана показали, что коэффициент вибровязкости зависит от физического состояния грунтов, особенно от их влажности [15].

На основании опытов, проведенных на сухих и полностью водонасыщенных песках, слабых глинистых грунтах, супесях и суглинках, было установлено, что наименьший коэффициент вибровязкости наблюдается у сухих и водонасыщенных грунтов, а при некотором значении вязкости он имеет максимум.

3. Виброуплотнение. Под действием вибрации рыхлые отложения грунтов могут давать значительные осадки, обусловленные изменением пористости грунтов в процессе их вибрирования.

Между коэффициентом пористости грунтов (изменения которого обуславливают осадки основания) и ускорением колебаний существует зависимость, подобная компрессионной зависимости, которая называется виброкомпрессионной кривой грунтов.

Из рассмотрения результатов опытов по виброуплотнению грунтов различными исследователями были сделаны следующие выводы:

1. При отсутствии внешней пригрузки уплотнение сыпучих грунтов начинается при любых слабых вибрациях и всегда завершается уплотнением,

близким к полному. Причем для песков различной влажности это уплотнение достигается при определенных ускорениях вибрации.

2. При наличии внешней пригрузки уплотнения грунтов практически не возникает лишь до некоторого критического ускорения. При большем ускорении имеет место виброуплотнение, которое при дальнейшем увеличении ускорения стабилизируется до некоторой пористости или динамической уплотненности. Динамическая уплотненность зависит от динамического коэффициента пористости, соответствующего виброуплотнению данного грунта при данной пригрузке, а также минимального и максимального значения коэффициента пористости в самом плотном и самом рыхлом состояниях без пригрузки.

3. Динамические воздействия могут вызвать виброползучесть, разжижение водонасыщенных оснований сооружений при сильных землетрясениях.

4. Деформируемость и прочность при динамических воздействиях отличаются от свойств при статических воздействиях. Это обусловлено динамической составляющей напряжений, которая вызывает ускорение частиц грунта и поровой воды.

5. В песках вибрация снижает сопротивление сдвигу и они приближаются по свойствам к тяжелой воде с незначительным внутренним трением.

6. Мелкозернистые водонасыщенные пески при ударе разжижаются и дают значительные просадки, выделяя поровую воду.

Таким образом, обобщая результаты исследований, проведенных ранее, можно констатировать следующее:

1. Известны характеристики грунтов, которые изменяются при динамическом воздействии – сопротивление сдвигу, вибровязкость и др.

2. При вибрационном воздействии на грунт происходит изменение их характеристик, также возможно их виброуплотнение.

3. Возможно появление эффекта виброползучести и разжижения грунтов. Что, в свою очередь, может вызвать осадки сооружения.

1.4. Модели, применяемые при исследовании динамического воздействия на конструкции и основания

В данном разделе остановимся на основных моделях работы грунтового основания при передаче на него динамического воздействия.

Грунты в динамике рассматривают как сплошные среды, непрерывно заполняющие пространство.

При рассмотрении волновых процессов в грунтах применяют следующие модели грунта [72]:

1. идеально упругой среды (линейной и нелинейной);
2. упругопластической среды (Х.А. Рахматуллина, С.С. Григоряна);
3. модели вязкопластичной среды (Г.М. Ляхова);
4. нелинейной дилатационной модели (А.П. Сеницына).

Модель идеально упругой сплошной среды. Наиболее проста для исследования волновых процессов в грунтах как сплошных средах. Ее применяют при невысоких давлениях, колебаниях от неуравновешенных машин. Она позволяет уяснить картину распространения волн в грунтах и их взаимодействие с преградами.

Скорости распространения волн зависят от модуля нормальной упругости E и коэффициентом поперечной упругости.

На основании опытов, проведенных Я.Н. Смоляковым, были получены значения коэффициентов затухания колебаний для различных типов грунтов. Используя модель упругой среды невозможно решить ряд задач – например, решение задачи о распространении плоской волны приводит к отсутствию угасания, что противоречит опытными данным.

Модель нелинейно упругой среды. Позволяет объяснить угасание плоских волн с расстоянием. Однако из этой модели не следует, что имеются остаточные деформации и ударная волна преобразуется в непрерывную волну сжатия, как это наблюдается в опытах. Модель может применяться к водонасыщенным грунтам.

Модели упругопластических сред. Лучше описывают волновые процессы в неводонасыщенных грунтах. При малых нагрузках эти среды рассматривают как упругие, при больших – как пластические.

Модель упругопластической среды, предложенная С.С. Григоряном. Имеет наиболее общий вид, позволяет описать произвольные движения грунта, возникающие при действии динамических нагрузок. В этой модели принимается, что диаграмма динамического сжатия не зависит от скорости деформирования, и соотношение между средним нормальным напряжением и плотностью различно для областей упругой и пластической деформаций.

Однако опыты показывают, что динамическая кривая сжатия зависит также от скорости деформирования, что не учитывается в модели упругопластической среды.

Модель вязкопластической среды, предложенная Г.М. Ляховым. Согласно ей существует 2 предельные кривые сжатия, соответствующие ударному и статическому нагружениям, между которыми лежат кривые, относящиеся к промежуточным значениям скорости деформирования.

Данная модель допускает также возможность возрастания деформаций в период уменьшения нагрузки, что наблюдается в опытах и не может быть получено по модели упругопластической среды. Недостаток модели – сложность применения.

Нелинейная дилатационная модель грунта. Согласно этой модели остаточные деформации возникают за счет переупаковки и сдвигов частиц грунта.

Свойство дилатации характеризуется тем, что механическая энергия сейсмических волн поглощается трением на контактах частиц и изменением объема грунтовой среды в процессе сдвига. Такая модель позволяет рассматривать задачи, относящиеся к распространению волн в грунтах и их взаимодействию с элементами конструкций, и получать параметры волн, существенно отличающиеся от полученных при использовании моделей идеально упругой и нелинейно упругой сред.

Для решения задач о колебаниях жестких массивных фундаментов на сжимаемых основаниях авторами, исследующими влияние вибрации разной интенсивности на компрессионную сжимаемость грунтов оснований, использовались упруго-линейные модели поведения грунтов [18]. При этом сам фундамент считается абсолютно жестким, связь между перемещениями фундамента и реакциями основания (или между напряжениями и деформациями грунта) полагается линейной, грунт считается невесомым.

Таким образом, все сводится к задаче о колебаниях твердого массивного тела на упругих невесомых пружинах без затухания. А динамическая задача сводится к статической, т.к. если известны динамические характеристики фундамента (масса и жесткость), то можно определить упругую реакцию основания с помощью модели Винклера, отвечающей гипотезе местных упругих деформаций. Однако эта модель, удобная для расчетов, не согласуется с реальными распределениями деформаций и напряжений в грунте и может дать только представление о низкочастотной реакции фундамента.

Вместо нее была предложена модель М.М. Филоненко-Бородича, которая соответствует основанию с местными упругими деформациями, на которое наложена без трения однородная, всесторонне растянутая мембрана, обеспечивающая распределение внешней нагрузки вдоль поверхности грунта.

Более широкое распространение впоследствии получила теория упругого полупространства, отвечающая гипотезе общих упругих деформаций. Она подразумевает анализ колебаний твердого тела с известной массой на поверхности упругой, однородной, изотропной, непрерывной полубесконечной среды (т.е. грунт считается идеальным материалом). В этом случае для расчета реакции основания необходимы значения динамического модуля сдвига и коэффициента Пуассона грунта, а также характер распределения давления по подошве фундамента.

В п. 6.14.5 СП [60] сказано, что при расчете колебаний сооружений с учетом взаимодействия с основанием для оценки прочности несущих конструкций

сооружений и выполнения санитарных норм допускается принимать, что основание обладает линейно-упругими свойствами.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Авторы, изучающие поведение грунтов и конструкций при динамическом воздействии, применяют упругопластические модели. Они более просты в применении и достаточно хорошо изучены. Однако не всегда результаты, полученные при использовании этих моделей, совпадают с полученными при проведении экспериментов.

2. Модели вязкопластической среды дают результаты, больше соответствующие опытным результатам. Однако они сложны в применении.

3. Нелинейная дилатационная модель грунта позволяет рассматривать задачи, относящиеся к распространению волн в грунтах и их взаимодействию с элементами конструкций, и получать параметры волн, существенно отличающиеся от полученных при использовании моделей идеально упругой и нелинейно упругой сред.

4. Согласно СП [60] допускается принимать линейно-упругую модель основания при расчете на динамическую нагрузку.

1.5. Методы виброзащиты зданий

Методы, предлагаемые для виброзащиты зданий и сооружений, можно разделить на 3 типа:

1. Виброгасящие приспособления.

Например, патент [51] предлагает располагать систему нейтрализаторов сейсмических колебаний вертикально и горизонтально в грунте. Нейтрализаторы состоят из железобетонных стержней с концевыми дисками на концах и промежуточных пружинных вставок.

2. Барьеры или экраны в виде траншей.

Патенты [50, 8, 7, 11, 12] предлагают использование барьера в виде траншеи, окружающего защищаемую территорию, для защиты застроенных

территорий от поверхностных сейсмических волн. Отличие данных патентов – в геометрии стенок траншеи и ее поперечного сечения, других конструктивных отличий.

Патент [10] предполагает устройство траншеи, которая выполняется из соединенных секций из железобетонных скорлуп, обращенных навстречу колебаниям либо выпуклостью, либо вогнутостью. Аналогичен ему патент [9], согласно которому устраивается траншея с криволинейными секциями, соединенными концевыми участками и заполненными, как вариант, железобетонными скорлупами.

Отличие патента [13] от указанных выше вариантов состоит в том, что экран снабжается плоской стенкой, прилегающей к стороне траншеи, удаленной от сооружения и шарнирно соединенной с ней понизу через систему сухого трения. Траншея заполнена жидкостью и газом для регулирования их давления и перекрыта демпфирующей прокладкой.

3. Барьеры или экраны в виде цепочки скважин.

Изобретения [6, 48, 49] в качестве барьера предлагают устройство на пути распространения волн в грунте ряд скважин с наполнителем. Отличие данных патентов – в геометрии скважин, контура цепочки свай и ее поперечного сечения, других конструктивных отличий.

Аналогично предыдущим изобретение [53], но подразумевает использование эластичной оболочки для заполнения защитным материалом.

В работе Габиева Ф.Г. [20] приведен анализ скважинных экранов, применяемых для защиты зданий и сооружений от воздействия сейсмических волн, методика определения эффективности применения таких экранов.

Кроме устройства различного рода экранов для снижения вибрационного воздействия на здания предлагаются различные решения устройства оснований и фундаментов зданий. Например, патент [47] предлагает устройство армирующих элементов вокруг фундамента здания для увеличения динамической жесткости основания, более подробно данный метод рассмотрен в работе Скворцова Е.П. [58].

Мариничев Н.Б. в качестве мероприятий, снижающих сейсмическое воздействие на сооружения, рассматривает как устройство вертикально армированного основания [38], так и решения, связанные с устройством фундамента [37].

Изобретение [54] предлагает устройство ленточного фундамента с переменным очертанием краевых зон, выполненного с применением торообразных резиноармированных пустотелых элементов. В качестве элементов предлагается использование утилизированных автомобильных покрышек, которые при вибрационных воздействиях выполняют роль упругих

1.6. Выводы по главе и задачи исследования

На основании анализа сказанного выше можно сделать следующие выводы:

1. В настоящее время проблема воздействия автотранспорта на фундаменты и основания существующих жилых зданий является актуальной, т.к. центральная часть населенных пунктов сформировалась много лет назад, а с течением времени транспортная нагрузка значительно изменилась. Увеличилась интенсивность движения, изменился состав транспортных средств, увеличилась масса экипажей. Пропускная способность улиц и их параметры при этом не изменились, произошедшие же изменения ухудшили ситуацию. Например, с увеличением ширины проезжей части уменьшилась ширина тротуара, при этом сократилось расстояние от источника вибрации до застройки.

2. В последнее время стали проводиться исследования воздействия вибрационного воздействия транспорта на прилегающую застройку. Однако они носят случайный, несистематический характер и относятся, как правило, к исторической застройке. Массовая же застройка, также характерная для центров многих населенных пунктов, исследуется крайне редко.

3. Большинство исследователей сравнивают полученные результаты с величинами, приведенными в санитарных нормах. Однако там указаны нормы, определяющие допустимые уровни воздействия на человека, а не на конструкции

зданий. При этом исследуются в основном перекрытия зданий, изучение фундаментов и оснований практически не проводится.

4. Требуется разработка методики расчета, которая позволила бы определять параметры вибрационного воздействия еще на стадии проектирования транспортной магистрали, здания или сооружения.

Исходя из сказанного выше, можно поставить следующие задачи исследований диссертационной работы:

1. Выделить факторы, влияющие на величину параметров вибрации конструкций фундаментов зданий, вызываемой автотранспортом.

2. Провести натурные и численные экспериментальные исследования величин выбранных параметров вибрации.

3. Разработать методы расчета параметров вибрации в зависимости от рассмотренных факторов.

4. Предложить методы защиты от вибрационного воздействия автотранспорта на конструкции фундаментов зданий или его снижения.

ГЛАВА 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВИБРАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ АВТОТРАНСПОРТА НА КОНСТРУКЦИИ ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЙ

2.1. Общие положения

Для проведения исследований и постановки натурного эксперимента была рассмотрена центральная часть города Перми в границах улиц Хохрякова-Монастырская-Островского-Пушкина.

На этой территории расположены жилые здания различных годов постройки, с применением как фундаментов мелкого заложения, так и свайных фундаментов.

По улицам проходят как трассы легкового транспорта, так и маршруты общественного транспорта.

Кроме этого предварительный анализ показал, что расстояние от края проезжей части до зданий на выбранной территории составляет от 3,5 до 30 м.

В качестве параметров для исследования из перечисленных в пункте 1.1 были выбраны те, которые, предположительно, имеют наибольшее влияние – расстояние от источника вибрации до здания, тип грунта (его динамические характеристики), масса транспортного средства (с учетом нагрузки на наиболее загруженную ось). Также в качестве варьируемого параметра выступает тип фундамента.

Экспериментальные исследования были проведены в два этапа:

1. Тестовый эксперимент, проведенный для апробации измерительного комплекса и отработки методики измерения.
2. Натурный эксперимент на выбранных участках улиц города Перми.

2.2. Тестовый эксперимент

2.2.1. Задачи тестового эксперимента

В разделе 1 работы были указаны основные параметры, которые, предположительно, являются значимыми при вибрационном воздействии автотранспорта. К ним относятся расстояние от источника до точки измерения, вид транспортного средства, геологические условия и т.д.

Для проведения тестового эксперимента были выбраны два параметра: расстояние от источника до точки замера и вид транспортного средства, также был введен параметр «расстояние от поверхности земли до датчика». Параметр позволяет имитировать крепление датчика в уровне земли, на конструкции фундамента и на стене сооружения.

К характеристикам, позволяющим оценить уровень вибрации, относятся виброскорость и виброускорение. На основании анализа литературы, проведенного в первой главе, был сделан вывод о возможных величинах этих характеристик.

Также, на основании анализа существующих приборов для измерения вибрации был сделан вывод о том, что наиболее распространено оборудование для измерения вибрации различных трубопроводов, агрегатов, механизмов. Однако оно не позволяет получить достоверные результаты при измерении вибрации конструкций фундаментов из-за недостаточной чувствительности. Поэтому было принято решение о сборе измерительного комплекса, отвечающего этим требованиям.

Задачи проведения тестового эксперимента:

1. Апробация установки.
2. Получение предварительных данных для определения возможности использования установки.
3. Получение предварительных данных по уровню вибрационного воздействия на фундаменты зданий.

2.2.2 Описание геологических условий и площадки эксперимента

Экспериментальная площадка расположена на ул. Чкалова, напротив корпуса строительного факультета ПНИПУ. Ул. Чкалова – магистральная улица общегородского значения. На данном участке транспортный состав улицы в «красных линиях» следующий: 3 полосы движения в каждом направлении, центральная разделительная полоса в виде газона, тротуары, отделенные от проезжей части разделительными полосами (газонами). Схема площадки приведена на рисунке 2.1.

Здание строительного факультета ПНИПУ 4-этажное, с подвалом, на фундаменте мелкого заложения.

В состав транспортного потока по ул. Чкалова входят легковые автомобили, грузовые автомобили и автобусы. Доля легкового транспорта - 80%, грузового - 3%, автобусов - 4%, автомобилей типа «Газель» - 13%. Данные приведены для крайней правой полосы направления ул. Стахановская- ул. Старцева. Средняя скорость движения транспортного потока – 30 км/ч (скорость потока составляет 0-50 км/ч).

Геологические условия площадки определены по архивным данным инженерно-геологических изысканий.

С поверхности залегают насыпные грунты, представленные суглинком полутвердым со щебнем и строительным мусором (ИГЭ-1). Их мощность изменяется от 0.4 м (СКВ. 40) до 8.8 м. (СКВ.46). Неравномерная мощность насыпных грунтов обусловлена планировкой территории.

Под насыпными грунтами (ИГЭ-1) залегают аллювиально-делювиальные суглинки и глины от полутвердой до мягкопластичной разновидности (ИГЭ-3, 4, 6, 6а, 6б), подстилаемые с глубины 0.4 м (СКВ.40)-8.2 м (СКВ.20) от поверхности земли песком пылеватым (ИГЭ 9) и гравийным грунтом (ИГЭ-10) аллювиального происхождения.

На глубине от 2.5 м до 10.5 м вскрыта кровля коренных пермских пород, представленная глиной аргиллитоподобной с прослоями аргиллитов (ИГЭ-7).

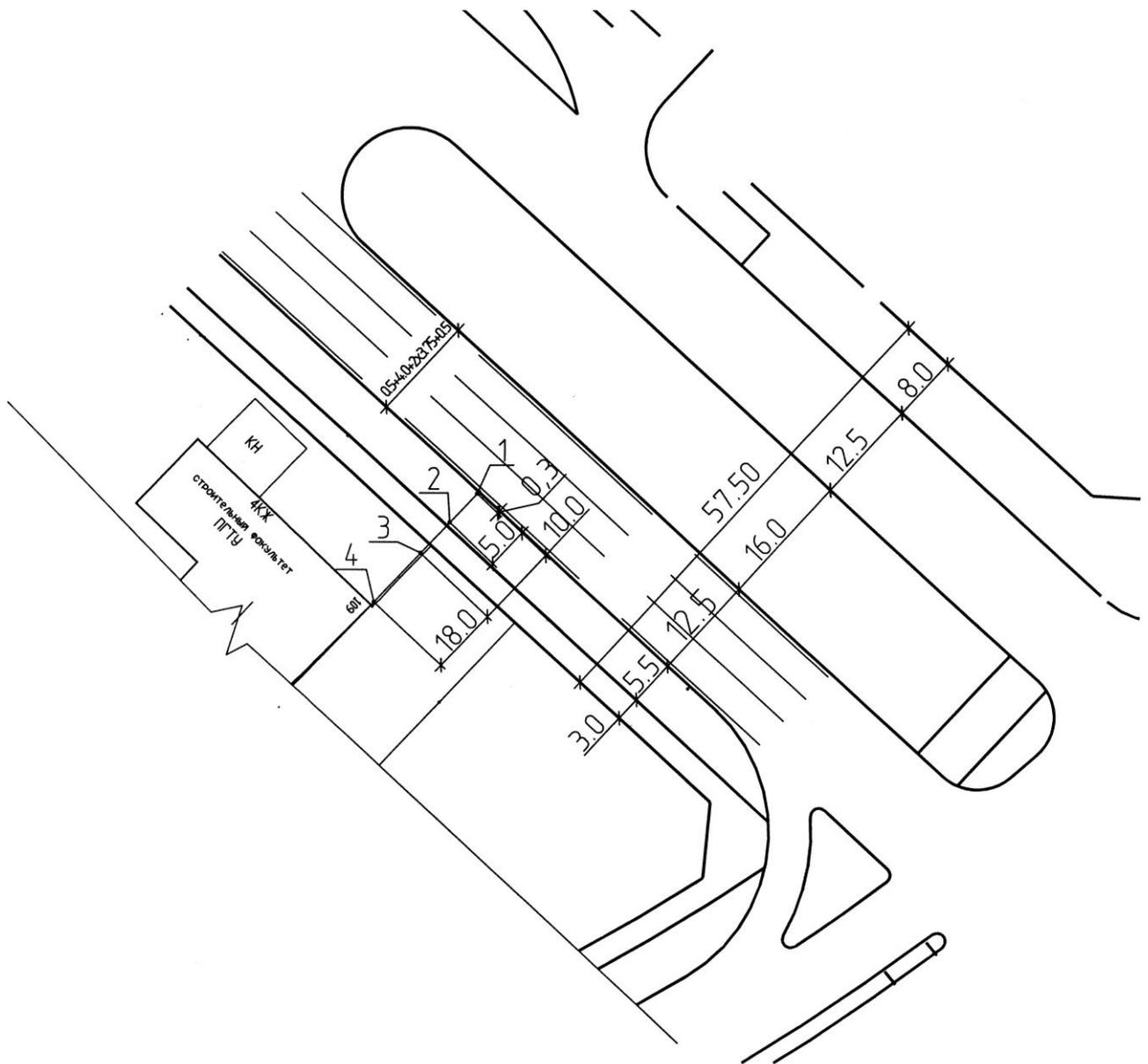


Рисунок 2.1 – Схема экспериментальной площадки

1, 2, 3, 4 – точки установки датчика

Грунтовые воды приурочены к песку и гравийному грунту. Их уровень зафиксирован на абсолютных отметках от 128.3 м (ручей) до 156.1 м (СКВ.34). Максимальный возможный уровень следует ожидать на 1.5-2.0 м выше зафиксированного. Основанием фундамента здания служит суглинок коричневый, тяжелый пылеватый, полутвердый и тугопластичный с линзами песка серого, пылеватого, плотного, насыщенного водой, с включением гравия и гальки.

Характеристики грунта основания: $\rho=1,96 \text{ гр/см}^3$, $\gamma=19,11 \text{ кН/м}^3$, $E=20,3 \text{ МПа}$, $C=23 \text{ кПа}$, $\varphi=21^\circ$.

2.2.3 Описание измерительной аппаратуры

Применяемый для проведения эксперимента специальный измерительный комплекс (рисунок 2.2) состоит из датчика – пьезоэлектрического преобразователя ДН-3М1, усилителя заряда РШ2731Э, аккумулятора для усилителя заряда, внешнего модуля АЦП/ЦАП Е14-440 (Л Кард) и ноутбука.

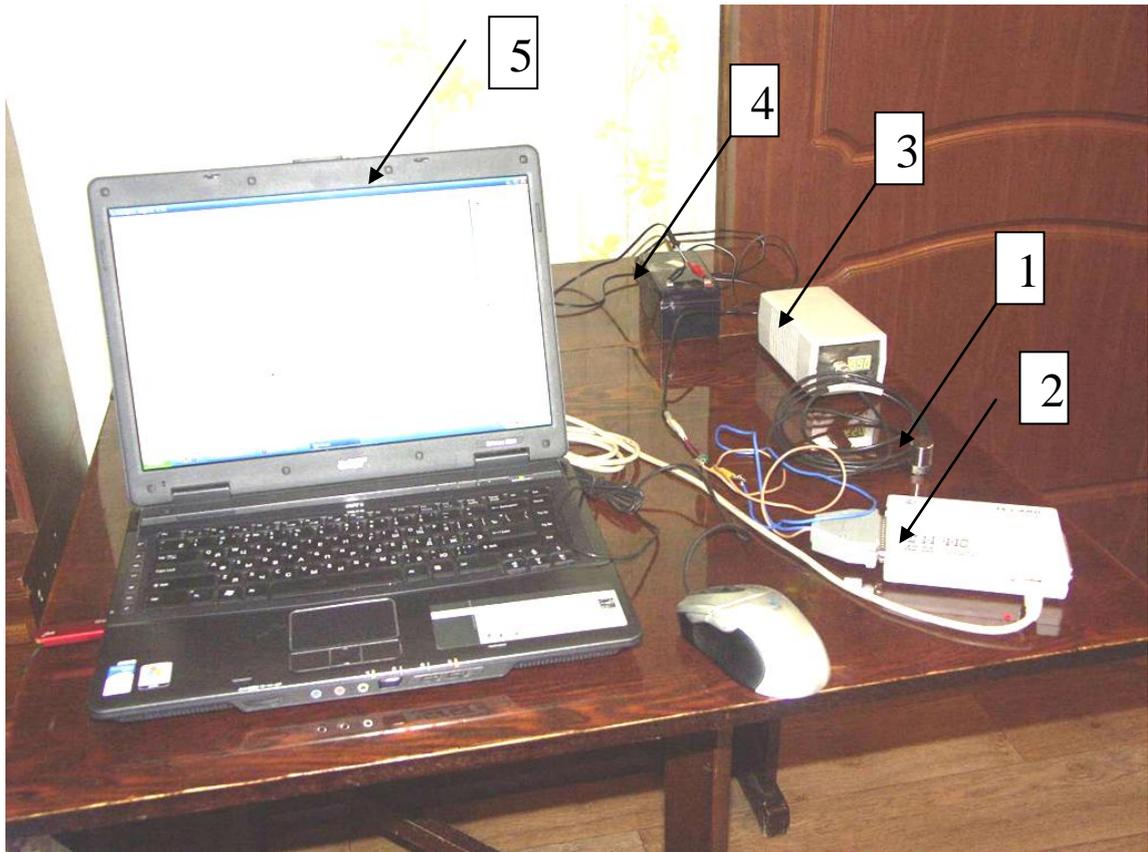


Рисунок 2.2 – Вид измерительного комплекса

1 – датчик, 2 – внешний модуль АЦП/ЦАП, 3 – усилитель заряда,
4 – аккумулятор, 5 – ноутбук

Датчик-преобразователь предназначен для преобразования механических колебаний в электрические сигналы, пропорциональные ускорению колеблющегося объекта. Пьезоэлементы вибропреобразователя испытывают деформации сжатия и растяжения, в результате чего на их поверхности возникают электрические заряды, пропорциональные действующей силе.

Усилитель заряда. Предназначен для согласования пьезоэлектрического измерительного преобразователя со стандартными средствами измерения электрических величин.

Внешний модуль АЦП/ЦАП Е14-440. Модуль Е14-440 является универсальным программно-аппаратным устройством для использования со стандартной последовательной шиной USB и предназначен для построения измерительных систем ввода, вывода и обработки аналоговой и цифровой информации в составе персональных IBM-совместимых компьютеров.

Данные снимаются с помощью датчика (пьезоэлектрического виброакселерометра ДН-3М1). Далее получаемые импульсы усиливаются усилителем заряда РШ2731Э и передаются на внешний модуль АЦП/ЦАП Е14-440 (Л Кард). С внешнего модуля результаты выводятся на экран ноутбука.

Для установки датчика была изготовлена металлическая стойка длиной 40 см из таврового проката 35 мм, имеющая в верхней части горизонтальную полку из уголка 40 мм. В полке и стойке сделаны отверстия с резьбой М4,5 для крепления датчика с помощью винтов или шпилек. Нижняя часть стойки заострена.

На ноутбуке установлена программа Lgraph2. Она позволяет просматривать информацию, снимаемую датчиком, в режиме реального времени, записывать ее на внешний носитель (память ноутбука) (рисунок 2.4), а также экспортировать получаемую информацию в файлы форматов *.bmp и *.txt для последующей обработки (рисунок 2.3).

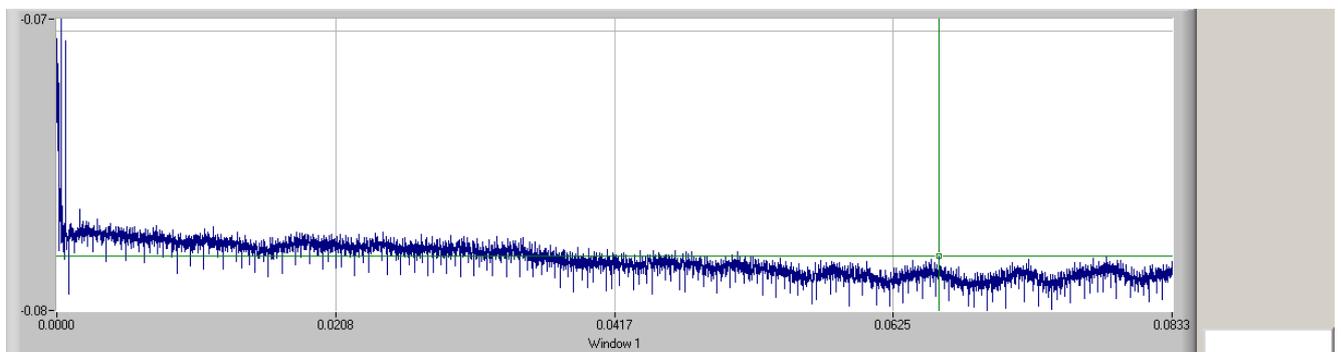


Рисунок 2.3 – Пример экспортированного файла данных в формат *.bmp

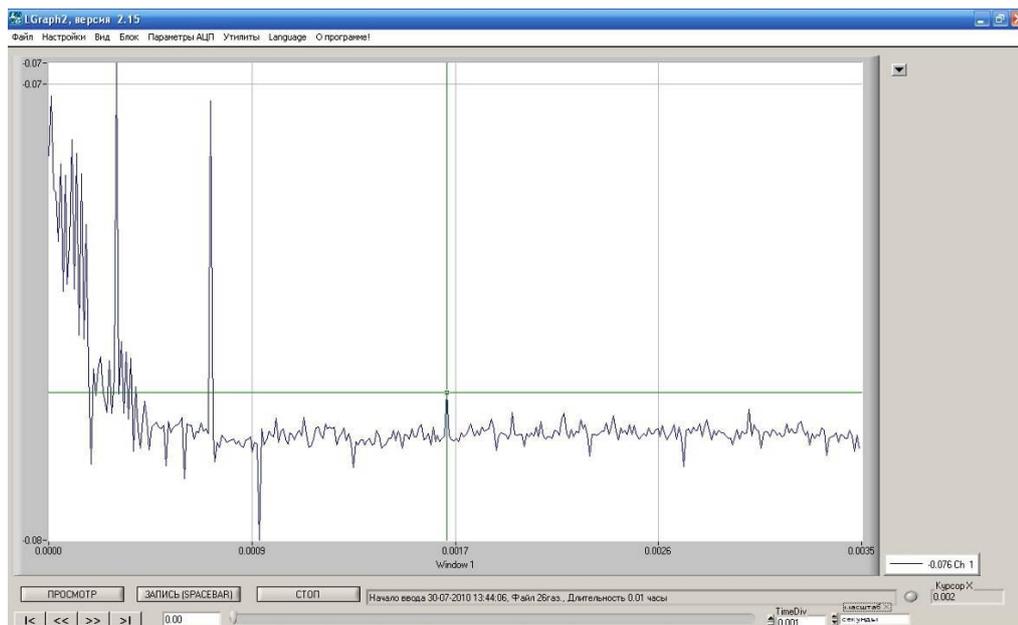


Рисунок 2.4 – Общий вид окна программы Lgraph2

2.2.4 Методика проведения тестового эксперимента

Замеры производились при движении транспорта по ближайшей полосе. При этом на других полосах транспорта не было.

Состав элементов улицы в «красных линиях» и размеры проезжей части, разделительных полос, тротуаров, полос движения представлены на рисунке 2.1.

Из исследований различных видов вибрационного воздействия, известно, что с расстоянием происходит затухание колебаний [2]. Исследования влияния забивки свай на прилегающую застройку, показали, что при расстоянии 25 м от источника воздействия на существующие сооружения нет [55]. Одной из задач проведения эксперимента являлась проверка этого факта.

При проведении эксперимента стойка устанавливалась на расстоянии 0,3; 5; 10 и 18 м от проезжей части (рисунок 2.1). Расстояние от источника (оси транспортного средства) до края проезжей части составляло 2,5 м, расстояние от точки замера до источника при этом – 2,8; 7,5; 12,5 и 20,5 м соответственно.

Величина минимального расстояния обусловлена тем, что в центральной части города минимальное расстояние от источника вибрации (оси транспортного

средства) до зданий составляет 2,5-3 м. Т.к. нет возможности закрепить датчик непосредственно на покрытии, для эксперимента было принято расстояние 2,8 м.

Величина максимально расстояния обусловлена необходимостью оценки уровня вибрации непосредственно вблизи здания, а также проверки факта затухания колебаний на расстоянии 25 м от источника (согласно исследованиям воздействия свайных работ на существующую застройку).

Промежуточные значения приняты для получения данных для сравнения. Величины промежуточных значений расстояний приняты в зависимости от величины параметров улицы – ширины газона и тротуара.

При проведении тестового эксперимента датчик крепился на стойку, глубина забивки которой изменялась таким образом, чтобы расстояние от поверхности земли до полки составляло 5, 15 и 25 см.

Максимальная глубина забивки необходимостью имитации исследования непосредственно колебаний фундамента, минимальная – возможностью крепления датчика на конструкции здания, промежуточное значение позволит получить данные для сравнения.

Замеры производились при датчике, закрепленном в двух положениях – вертикально и горизонтально (в направлении, перпендикулярном траектории движения транспорта). Датчик крепился вертикально на винт или приклеивался на двухстороннюю липкую ленту, горизонтально – с помощью винта. При вертикальном креплении датчик фиксирует вертикальную составляющую колебаний, при горизонтальном – горизонтальную.

В потоке транспорта выделялись и фиксировались легковые автомобили, автомобили типа «Газель», грузовые автомобили и автобусы. Классификация транспортных средств обусловлена их массой (вместе с грузом) и возможностью отнести их к наиболее распространенным транспортным средствам на территории города. Нагрузка на оси транспортных средств указана в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Нагрузка на оси транспортных средств

Тип автомобиля	Масса, т	Нагрузка на ось, кН		
		1 ось	2 ось	3 ось
Грузовой	25	50	100	100
Автобус	18	60	120	-
«Газель»	4	15	25	-
Легковой	2	10	10	-

На рисунке 2.5 представлен вид установки непосредственно на экспериментальной площадке.



Рисунок 2.5 – Вид установки на экспериментальной площадке

Согласно принципам математической статистики для получения достоверных данных необходимо провести серию не менее чем из 3-х опытов при одинаковых условиях. Поэтому в каждой точке при каждой глубине забивки

проводилось пять замеров по отдельному виду транспорта. В отдельных случаях количество замеров составило три.

Данные по каждому транспортному средству на месте заносились в отдельный файл в формате программы Lgraph2.

Измерения проводились при подходе ТС, его проезде мимо датчика и удалении. Для получения большего числа данных замеры производились каждые 0,001 с.

2.2.5 Результаты тестового эксперимента

Результаты эксперимента для вертикальной составляющей виброускорения приведены в таблице 2.2.

Исследования, проведенные ранее [34, 2, 27], показали, что величина виброускорения конструкций и грунта при движении транспорта составляет 0,0003-0,011 м/с². Полученные результаты находятся в этих пределах, поэтому можно сделать вывод о возможности применения установки для измерения виброускорения конструкций фундаментов при динамическом воздействии на них автотранспорта.

Таблица 2.2– Результаты тестового эксперимента
(вертикальная составляющая виброускорения)

а, м/ b, см *	Тип трансп. средства	Максимальная нагрузка на ось, кН	Виброускорение, м/с ²
30/15	Автобус	120	0, 07725
30/15	«Газель»	25	0, 00859
30/15	Грузовой	100	0,01145
30/15	Легковой	10	0, 00551
30/25	Автобус	120	0, 01704
30/25	«Газель»	25	0, 01453
30/25	Грузовой	100	0, 01742
30/25	Легковой	10	0, 01331
30/5	Автобус	120	0, 03098

а, м/ b, см *	Тип трансп. средства	Максимальная нагрузка на ось, кН	Виброускорение, м/с ²
30/5	«Газель»	25	0, 01306
30/5	Грузовой	100	0, 03131
30/5	Легковой	10	0, 01656
10/15	Автобус	120	0, 02805
10/15	«Газель»	25	0, 01910
10/15	Грузовой	100	0,02902
10/15	Легковой	10	0, 01210
10/25	Автобус	120	0, 05953
10/25	«Газель»	25	0, 03201
10/25	Грузовой	100	0, 04546
10/25	Легковой	10	0, 02488
10/5	Автобус	120	0, 03050
10/5	«Газель»	25	0, 00913
10/5	Грузовой	100	0, 02209
10/5	Легковой	10	0, 00758
5/15	Автобус	120	0, 08433
5/15	«Газель»	25	0, 01730
5/15	Грузовой	100	0, 07452
5/15	Легковой	10	0, 01641
5/25	Автобус	120	0, 08279
5/25	«Газель»	25	0,02863
5/25	Грузовой	100	0, 04180
5/25	Легковой	10	0, 03045
5/5	Автобус	120	0, 01712
5/5	«Газель»	25	0, 00989
5/5	Грузовой	100	0, 01913
5/5	Легковой	10	0, 00907

* а – расстояние от края проезжей части до точки установки датчика, м

б – расстояние от поверхности земли до датчика, см

2.3 Натурный эксперимент

Проведенный тестовый эксперимент показал, что предложенный комплекс измерительной аппаратуры позволяет измерять виброускорение конструкций фундаментов и грунтов при исследовании вибрационного воздействия автотранспорта. Поэтому с его помощью возможно проведение более подробных исследований.

Задачи натурального эксперимента:

1. Провести исследования виброускорения конструкций фундаментов жилых зданий с различным типом фундаментов.
2. Исследовать параметры виброускорения конструкций на площадках с различными грунтовыми условиями.
3. Изучить влияние выбранных параметров на величину виброускорения.
4. Получить базу данных значений виброускорения для дальнейшего анализа.

Как было сказано выше, можно выделить большое количество факторов, влияющих на параметры вибрации конструкций фундаментов. В данной работе их круг был ограничен наиболее значимыми. В работе рассматривалось только вибрационное воздействие транспорта и не учитывалось его шумовое влияние на прилегающую застройку, при этом рассматривались наиболее распространенные в центральной части города Перми типы транспортных средств. Также при проведении исследований учитывались только характеристики грунта основания и не рассматривалось влияние грунтовых вод, наличие коммуникаций и напластование грунтов. Согласно исследованиям динамического воздействия транспорта на покрытие одним из основных факторов, влияющих на величину параметров вибрации, является состояние покрытия проезжей части. В данной работе состояние покрытия не рассматривалось в качестве фактора, так как на всех участках состояние покрытия соответствовало требованиям к эксплуатационному состоянию.

2.3.1 Описание площадок исследования

В качестве исследуемых были выбраны здания постройки 60-80-х годов XX века серий 1-447 и 1-464, т.к. жилой фонд такого типа наиболее распространен на территории города Перми.

Для проведения эксперимента были отобраны 20 участков в центральной части г. Перми. Соответствие участков и площадок на них приведено в таблице 2.3. Расположение участков и площадок на территории города показано на рисунках, приведенных ниже.

Таблица 2.3 – Адреса расположения участков и площадок

Номер площадки	Адрес
1	Петропавловская, 78
2	Петропавловская, 72
3	Екатерининская, 196
4	Екатерининская, 194
5	Екатерининская, 184
6	Пушкина, 25 (с Пушкина)
7	Пушкина, 25 (с Г. Звезда)
8	Пушкина, 23 (с Пушкина)
9	Пушкина, 23 (с Г. Звезда)
10	Пушкина, 21 (с Пушкина)
11	Пушкина, 21 (с Луначарского)
12	Пушкина, 11
13	Пушкина, 27
14	Луначарского, 128
15	Луначарского, 135
16	Луначарского, 133
17	Луначарского, 134
18	Луначарского, 96
19	Луначарского, 94
20	Луначарского, 90

Площадка № 1. Расположена по адресу ул. Петропавловская, д. 78. Исследуемое здание – 5-этажное, кирпичное, на фундаменте мелкого заложения, выполнено по серии 1-447. Здание расположено перпендикулярно проезжей части. Расстояние от источника до здания – 11,2 м.

Расположение здания на плане города приведено на рисунке 2.6. Поперечный профиль улицы представлен на рисунке А.1 (Приложение А).

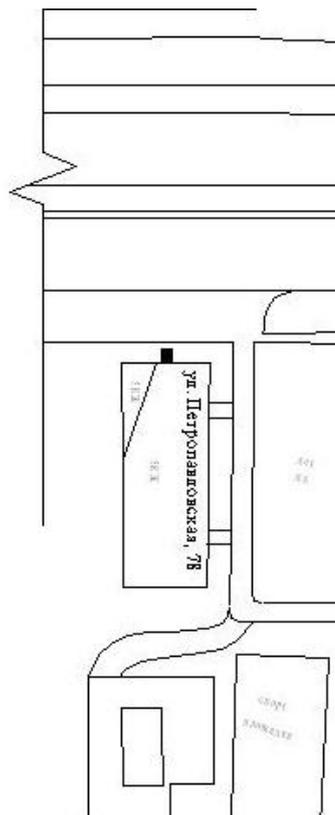


Рисунок 2.6 – Ул. Петропавловская, д. 78

Площадка № 2. Расположена по адресу ул. Петропавловская, д. 72. Исследуемое здание – 5-этажное, кирпичное, на фундаменте мелкого заложения, выполнено по серии 1-447. Здание расположено параллельно проезжей части. Расстояние от источника до здания – 15,1 м.

Расположение здания на плане города приведено на рисунке 2.7. Поперечный профиль улицы представлен на рисунке А.2.



Рисунок 2.7 – Ул. Петропавловская, д. 72

Площадка № 3. Расположена по адресу ул. Екатерининская, д. 196. Исследуемое здание – 5-этажное, панельное, на свайном фундаменте, выполнено по серии 1-464. Здание расположено параллельно проезжей части. Расстояние от источника до здания – 13,9 м.

Расположение здания на плане города приведено на рисунке 2.8. Поперечный профиль улицы представлен на рисунке А.3 (Приложение А).

Площадка № 4. Расположена по адресу ул. Екатерининская, д. 194. Исследуемое здание – 5-этажное, панельное, на свайном фундаменте, выполнено по серии 1-464. Здание расположено параллельно проезжей части. Расстояние от источника до здания – 17,6 м.

Расположение здания на плане города приведено на рисунке 2.8. Поперечный профиль улицы представлен на рисунке А.4 (Приложение А).

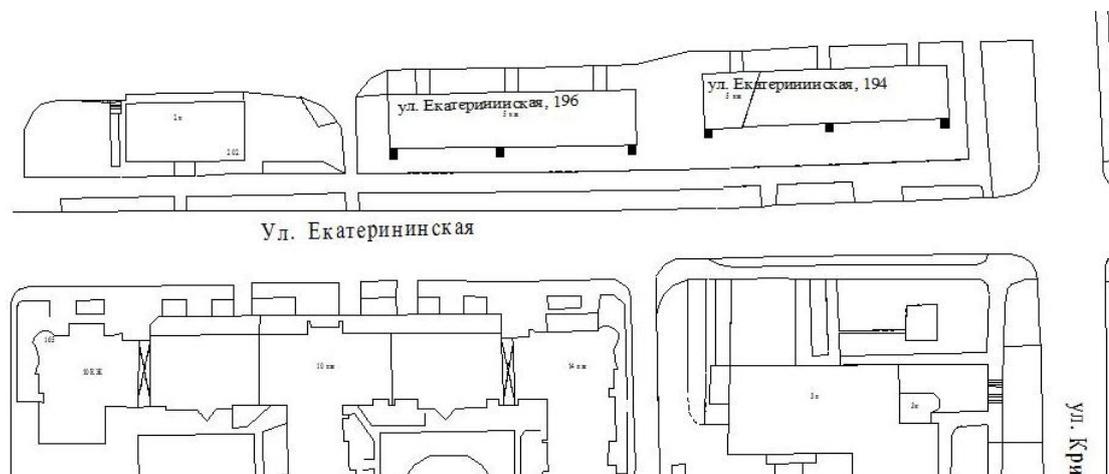


Рисунок 2.8 – Ул. Екатерининская, д. 196, д. 194

Площадка № 5. Расположена по адресу ул. Екатерининская, д. 184. Исследуемое здание – 5-этажное, кирпичное, на фундаменте мелкого заложения, выполнено по серии 1-447. Здание расположено перпендикулярно проезжей части. Расстояние от источника до здания – 11,2 м.

Расположение здания на плане города приведено на рисунке 2.10. Поперечный профиль улицы представлен на рисунке 2.9.

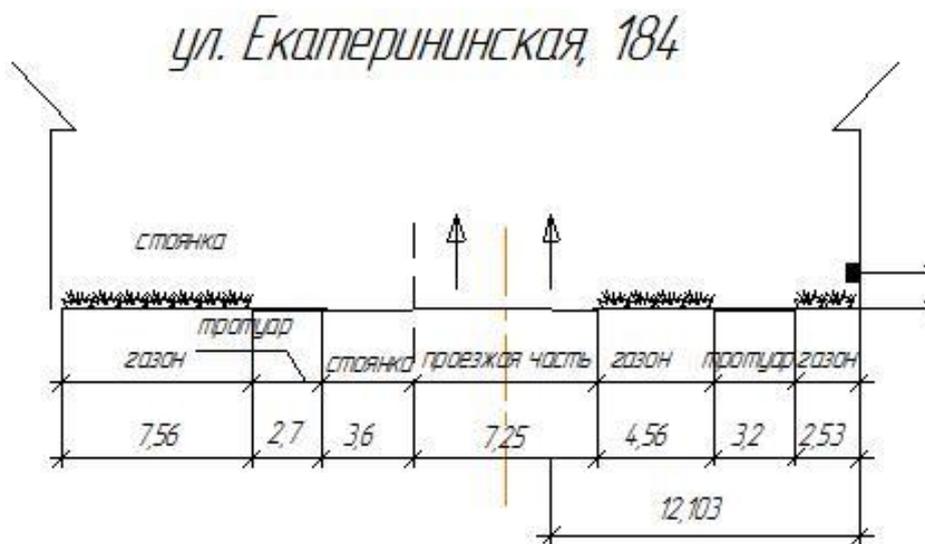


Рисунок 2.9 – Поперечный разрез ул. Екатерининской у дома № 184

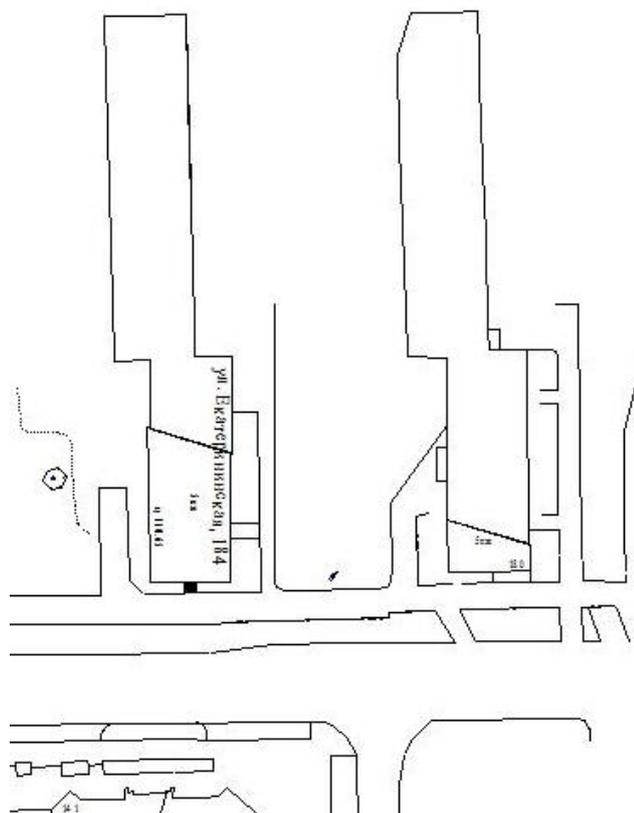


Рисунок 2.10 – Ул. Екатерининская, д. 184.

Площадки № 6 и № 7. Расположены по адресу ул. Пушкина, д. 25. Исследуемое здание – 9-этажное, панельное, на свайном фундаменте, выполнено по серии 1-464. Здание ориентировано на ул. Луначарского, ул. Газеты «Звезда» и ул. Пушкина.

Площадка № 6 рассматривается как ориентация здания на ул. Пушкина, площадка № 7 – как ориентация здания на ул. Газеты «Звезда». Относительно ул. Газеты «Звезда» здание расположено параллельно проезжей части. Расстояние от источника до здания - 12,7 м. Относительно ул. Пушкина здание расположено перпендикулярно проезжей части. Расстояние от источника до здания – 15,9 м.

Расположение здания на плане города приведено на рисунке 2.11. Поперечный профиль улицы Газеты «Звезда» представлен на рисунке А.5 (Приложение А). Поперечный профиль улицы Пушкина представлен на рисунке А.6 (Приложение А).

Площадки № 8 и № 9. Расположены по адресу ул. Пушкина, д. 23. Исследуемое здание – 9-этажное, панельное, на свайном фундаменте, выполнено по серии 1-464. Здание ориентировано на ул. Луначарского, ул. Газеты «Звезда» и ул. Пушкина.

Площадка № 8 рассматривается как ориентация здания на ул. Пушкина, площадка № 9 – как ориентация здания на ул. Газеты «Звезда». Относительно ул. Газеты «Звезда» здание расположено параллельно проезжей части. Расстояние от источника до здания - 35,9 м. Относительно ул. Пушкина здание расположено перпендикулярно проезжей части. Расстояние от источника до здания – 15,6 м.

Расположение здания на плане города приведено на рисунке 2.11. Поперечный профиль улицы Газеты «Звезда» представлен на рисунке А.5 (Приложение А). Поперечный профиль улицы Пушкина представлен на рисунке А.7 (Приложение А).

Площадки № 10 и № 11. Расположены по адресу ул. Пушкина, д. 21. Исследуемое здание – 9-этажное, панельное, на свайном фундаменте, выполнено по серии 1-464. Здание ориентировано на ул. Луначарского и ул. Пушкина.

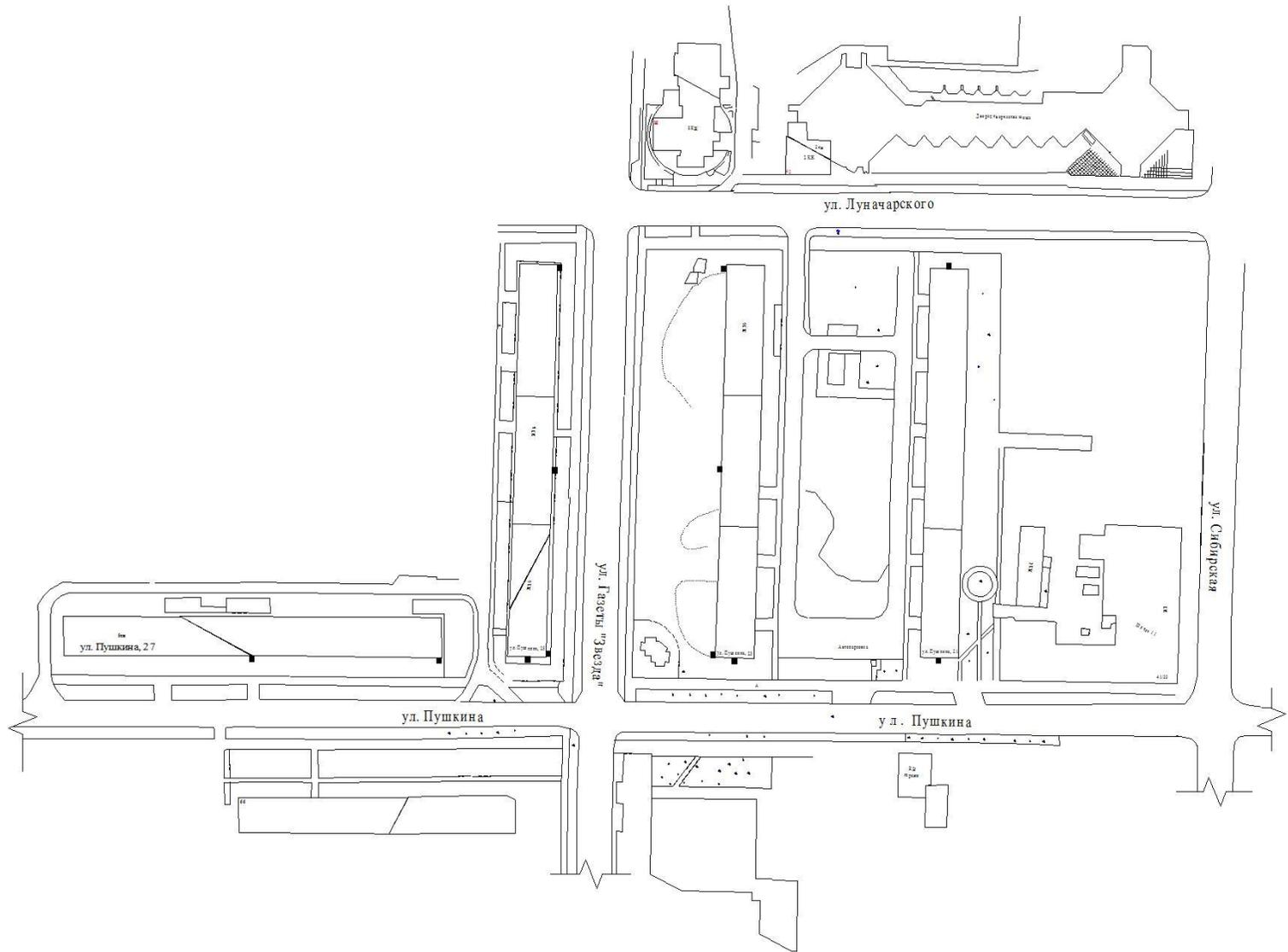


Рисунок 2.11 – Ул. Пушкина, д. 21, 23, 25, 27

Площадка № 10 рассматривается как ориентация здания на ул. Пушкина, площадка № 11 – как ориентация здания на ул. Луначарского. Относительно ул. Луначарского здание расположено перпендикулярно проезжей части. Расстояние от источника до здания - 13,8 м. Относительно ул. Пушкина здание расположено перпендикулярно проезжей части. Расстояние от источника до здания – 16,5 м.

Расположение здания на плане города приведено на рисунке 2.11. Поперечный профиль улицы Луначарского представлен на рисунке А.9 (Приложение А). Поперечный профиль улицы Пушкина представлен на рисунке А.10 (Приложение А).

Площадка № 12. Расположена по адресу ул. Пушкина, д. 11. Исследуемое здание – 9-этажное, панельное, на свайном фундаменте, выполнено по серии 1-464. Здание расположено параллельно проезжей части. Расстояние от источника до здания - 36,5 м.

Поперечный профиль улицы Пушкина представлен на рисунке А.11. Расположение здания на плане города приведено на рис. 2.12.

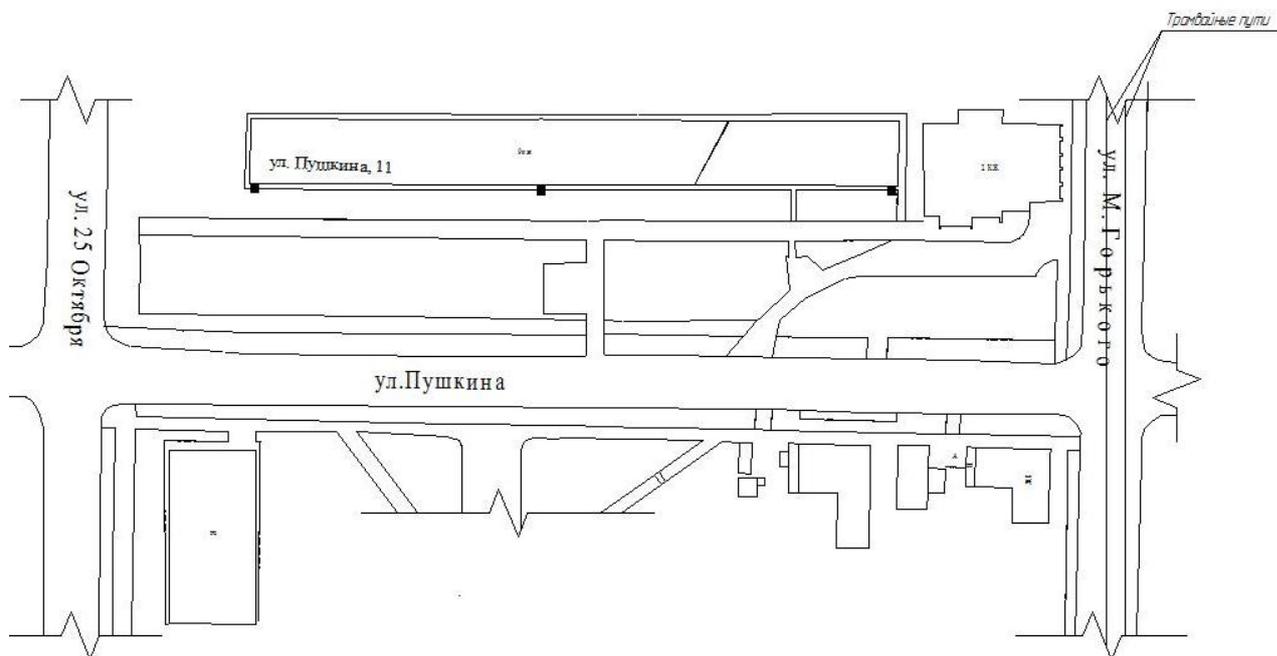


Рис. 2.12. Ул. Пушкина, д. 11

Площадка № 13. Расположена по адресу ул. Пушкина, д. 27. Исследуемое здание – 9-этажное, панельное, на свайном фундаменте, выполнено по серии 1-

464. Здание расположено параллельно проезжей части. Расстояние от источника до здания - 15,4 м.

Расположение здания на плане города приведено на рисунке 2.12. Поперечный профиль улицы Пушкина представлен на рисунке А.12.

Площадка № 14. Расположена по адресу ул. Луначарского, д. 128. Исследуемое здание – 5-этажное, кирпичное, на свайном фундаменте, выполнено по серии 1-447. Здание расположено перпендикулярно проезжей части. Расстояние от источника до здания – 12,9 м.

Расположение здания на плане города приведено на рисунке 2.13. Поперечный профиль улицы представлен на рисунке А.13.

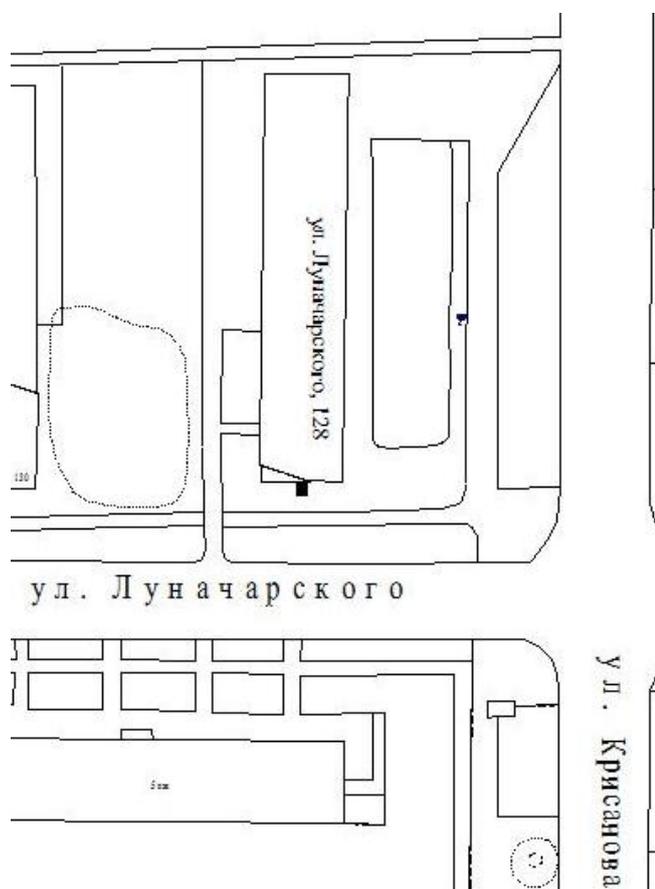


Рисунок 2.13 – Ул. Луначарского, д. 128

Площадка № 15. Расположена по адресу ул. Луначарского, д. 135. Исследуемое здание – 5-этажное, кирпичное, на фундаменте мелкого заложения, выполнено по серии 1-447. Здание расположено параллельно проезжей части. Расстояние от источника до здания – 9,5 м.

Расположение здания на плане города приведено на рисунке 2.14. Поперечный профиль улицы представлен на рисунке А.14.

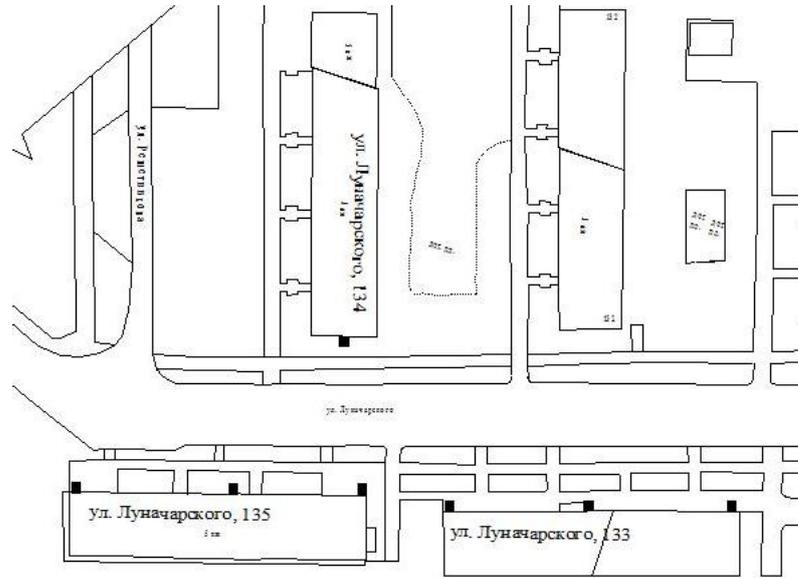


Рисунок 2.14 – Ул. Луначарского, д. 134, д. 133, д. 135

Площадка № 16. Расположена по адресу ул. Луначарского, д. 133. Исследуемое здание – 5-этажное, кирпичное, на фундаменте мелкого заложения, выполнено по серии 1-447. Здание расположено параллельно проезжей части. Расстояние от источника до здания – 12,9 м.

Расположение здания на плане города приведено на рисунке 2.14. Поперечный профиль улицы представлен на рисунке А.15.

Площадка № 17. Расположена по адресу ул. Луначарского, д. 134. Исследуемое здание – 5-этажное, кирпичное, на свайном фундаменте, выполнено по серии 1-447. Здание расположено перпендикулярно проезжей части. Расстояние от источника до здания – 9,5 м.

Расположение здания на плане города приведено на рисунке 2.14. Поперечный профиль улицы представлен на рисунке А.16.

Площадка № 18. Расположена по адресу ул. Луначарского, д. 96. Исследуемое здание – 9-этажное, панельное, на свайном фундаменте, выполнено по серии 1-464. Здание расположено параллельно проезжей части. Расстояние от источника до здания – 16,3 м.

Поперечный профиль улицы представлен на рисунке А.17. Расположение здания на плане города приведено на рисунке 2.15.

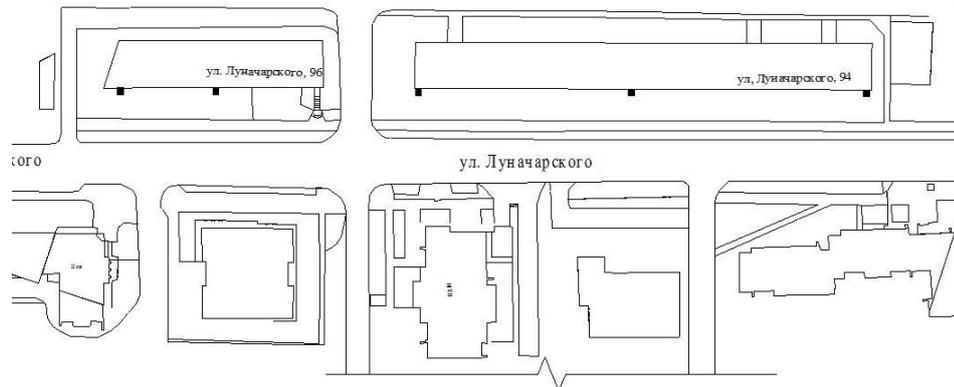


Рисунок 2.15 – Ул. Луначарского, д. 94, д. 96

Площадка № 19. Расположена по адресу ул. Луначарского, д. 94. Исследуемое здание – 9-этажное, панельное, на свайном фундаменте, выполнено по серии 1-464. Здание расположено параллельно проезжей части. Расстояние от источника до здания – 14,8 м.

Расположение здания на плане города приведено на рисунке 2.15. Поперечный профиль улицы представлен на рисунке А.18.

Площадка № 20. Расположена по адресу ул. Луначарского, д. 90. Исследуемое здание – 9-этажное, кирпичное, на фундаменте мелкого заложения, выполнено по серии 1-447. Здание расположено параллельно проезжей части. Расстояние от источника до здания – 14,8 м.

Поперечный профиль улицы представлен на рисунке А.19. Расположение здания на плане города приведено на рисунке 2.16.

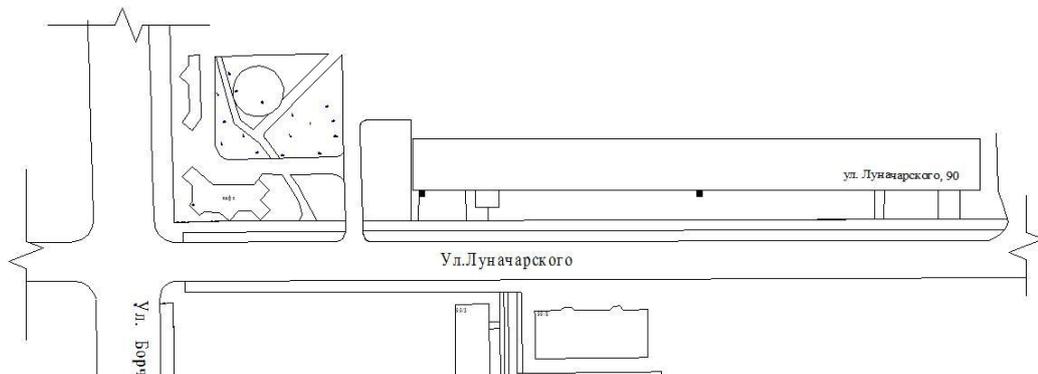


Рисунок 2.16 – Ул. Луначарского, д. 90

2.3.2. Инженерно-геологические условия площадок

Инженерно-геологические условия площадок определялись исходя из архивных данных изысканий, выполненных трестом ВерхнекамТИСИЗ на соответствующих площадках в разные годы.

В качестве грунта основания был выбран слой, расположенный на глубине 10 м для свайных фундаментов и на глубине 3 м для фундаментов мелкого заложения. В перечнях ИГЭ грунт основания выделен **жирным шрифтом**.

Инженерно-геологические условия **площадки № 1** представлены следующими элементами:

ИГЭ-1 Насыпной грунт – 1,2 м.

ИГЭ-2 Глина коричневатая-серая, пылеватая, мягкопластичная – 1,2 м.

ИГЭ-3 Суглинок серый, иловатый, средней плотности – 1,1 м.

ИГЭ-4 Песок серый, мелкозернистый, плотный – 1,7 м.

ИГЭ-4 Песок гравелистый, коричневый, водонасыщенный – 1,8 м.

Инженерно-геологические условия **площадки № 2** представлены следующими элементами:

ИГЭ-1 Насыпной грунт – 1,4 м.

ИГЭ-2 Песок темно-серый, мелкозернистый, влажный – 1,6 м.

ИГЭ-3 Суглинок легкий песчанистый полутвердый, гравелистый – 1,3 м.

ИГЭ-4 Песок коричневый, мелкозернистый, средней плотности – 1,0 м.

ИГЭ-5 Гравий серый, среднезернистый, с песчаным заполнителем – 1,6 м.

Инженерно-геологические условия **площадки № 3** представлены следующими элементами:

ИГЭ-1 Насыпной грунт – 0,4 м.

ИГЭ-2 Песок коричневый, мелкий, средней плотности, маловлажный – 1,0 м.

ИГЭ-3 Суглинок светло-коричневый, тугопластичный – 1,2 м.

ИГЭ-4 Песок коричневатый-желтый, мелкий, средней плотности – 0,4 м.

ИГЭ-5 Супесь светло-коричневая, плотная, влажная – 0,4 м.

ИГЭ-6 Песок темно-желтый, пылеватый, средней плотности – 0,6 м.

ИГЭ-7 Суглинок светло-коричневый, тугопластичный, плотный – 0,9 м.

ИГЭ-8 Глина светло-коричневая, мягкопластичная – 1,1 м.

ИГЭ-9 Суглинок серовато-коричневый, тугопластичный – 0,8 м.

ИГЭ-10 Супесь светло-коричневая, пластичная, влажная – 1,0 м.

ИГЭ-11 Глина серовато-коричневая, тугопластичная, с гравием – 0,8 м.

ИГЭ-12 Суглинок элювиальный, твердой и полутвердой консистенции – 2,6 м.

Инженерно-геологические условия **площадки № 4** представлены следующими элементами:

ИГЭ-1 Насыпной грунт – 0,3 м.

ИГЭ-2 Песок коричневый, мелкий, средней плотности, маловлажный – 0,6 м.

ИГЭ-3 Суглинок светло-коричневый, тугопластичный – 0,2 м.

ИГЭ-4 Песок мелкий – 0,3 м.

ИГЭ-5 Суглинок светло-коричневый, тугопластичный, маловлажный – 0,6

ИГЭ-6 Песок мелкий – 0,2 м.

ИГЭ-7 Суглинок светло-коричневый, тугопластичный, маловлажный – 0,6 м.

ИГЭ-8 Песок мелкий – 1,2 м.

ИГЭ-9 Суглинок светло-коричневый, тугопластичный – 1,3 м.

ИГЭ-10 Песок мелкий – 1,2 м.

ИГЭ-11 Суглинок светло-коричневый, тугопластичный – 0,6 м.

ИГЭ-12 Песок пылеватый – 0,6 м.

ИГЭ-13 Гравелистый грунт – 1,2 м.

ИГЭ-14 Песок мелкий – 0,8 м.

ИГЭ-15 Глина элювиальная – 1,5 м.

ИГЭ-16 Аргиллит коричневый сильно выветрелый, весьма низкой прочности, размягчаемый – 1,0 м.

Инженерно-геологические условия **площадки № 5** представлены следующими элементами:

ИГЭ-1 Насыпной грунт – 0,5 м.

ИГЭ-2 Песок серый, мелкий, маловлажный – 0,5 м.

ИГЭ-3 Песок коричневый, мелкий, слабовлажный – 0,6 м.

ИГЭ-4 Суглинок коричневый, слабовлажный, плотный – 0,2

ИГЭ-5 Песок желтый, мелкий, водонасыщенный, слабый – 3,0 м.

ИГЭ-6 Гравий темно-серый, мелкозернистый, окатанный, влажный – 2,0 м.

Инженерно-геологические условия площадки № 6 представлены следующими элементами:

ИГЭ-1 Почвенно-растительный слой – 0,3 м.

ИГЭ-2 Песок мелкий, светло-коричневый – 0,3 м.

ИГЭ-3 Глина коричневая, полутвердая – 0,4 м.

ИГЭ-4 Суглинок коричневый, текучепластичный – 1,8 м.

ИГЭ-5 Суглинок коричневый, мягкопластичный с гравием – 3,9 м.

ИГЭ-6 Суглинок темно-коричневый, тугопластичный – 1,8 м.

ИГЭ-7 Глина темно-коричневая с фиолетовым оттенком полутвердой и твердой консистенции – 3,7 м.

Инженерно-геологические условия площадки № 7 представлены следующими элементами:

ИГЭ-1 Почвенно-растительный слой – 0,3 м.

ИГЭ-2 Песок мелкий, светло-коричневый, средней плотности – 0,5 м.

ИГЭ-3 Суглинок коричневый, мягкопластичный – 6,8 м.

ИГЭ-4 Суглинок темно-коричневый, тугопластичный с гравием – 1,5 м.

ИГЭ-5 Суглинок темно-коричневый с фиолетовым оттенком, тугопластичный – 1,2 м.

ИГЭ-6 Глина темно-коричневая твердая – 6,8 м.

Инженерно-геологические условия площадки № 8 представлены следующими элементами:

ИГЭ-1 Почвенно-растительный слой – 0,3 м.

ИГЭ-2 Суглинок коричневый, мягкопластичный – 4,4 м.

ИГЭ-3 Глина вишнево-коричневая, полутвердая, с дресвой и щебнем – 2,3 м.

ИГЭ-4 Глина легкая дресвяная полутвердая – 8,0 м.

Инженерно-геологические условия площадки № 9 представлены следующими элементами:

ИГЭ-1 Почвенно-растительный слой – 0,4 м.

ИГЭ-2 Супесь коричнево-серая, пластичная – 0,8 м.

ИГЭ-3 Суглинок бурый, мягкопластичный – 1,6 м.

ИГЭ-4 Песок желтый, пылеватый – 1,1 м.

ИГЭ-5 Суглинок желто-коричневый, тугопластичный, со щебнем и дресвой – 2,9 м.

ИГЭ-6 Глина красно-коричневая, тугопластичная, со щебнем и дресвой – 1,1 м.

ИГЭ-7 Аргиллит темно-коричневый сухой, крепкий, с прослойками серого песчаника на карбонатном цементе, трещиноватый – 7,1 м.

Инженерно-геологические условия площадки № 10 представлены следующими элементами:

ИГЭ-1 Почвенно-растительный слой – 0,3 м.

ИГЭ-2 Суглинок коричневый, мягкопластичный – 4,4 м.

ИГЭ-3 Песок желтый, пылеватый – 2,3 м.

ИГЭ-4 Глина вишнево-коричневая, полутвердая, со щебнем и дресвой – 2,3 м.

ИГЭ-5 Суглинок красновато-коричневый тугопластичный, с дресвой и щебнем аргиллита – 8,0 м.

Инженерно-геологические условия площадки № 11 представлены следующими элементами:

ИГЭ-1 Почвенно-растительный слой – 0,4 м.

ИГЭ-2 Суглинок коричневый, тугопластичный – 3,4 м.

ИГЭ-3 Песок коричневый, пылеватый – 2,8 м.

ИГЭ-4 Глина серая полутвердая, со щебнем аргиллита – 6,3 м.

Инженерно-геологические условия площадки № 12 представлены следующими элементами:

ИГЭ-1 Почвенно-растительный слой – 0,4 м.

ИГЭ-2 Супесь коричнево-серая, пластичная, с гравием – 1,1 м.

ИГЭ-3 Суглинок бурый, тугопластичный, с гравием – 0,9 м.

ИГЭ-4 Песок коричневый, мелкозернистый – 1,8 м.

ИГЭ-5 Глина коричневая, тугопластичная, со щебнем и дресвой – 1,3 м.

ИГЭ-6 Суглинок серовато-коричневый, твердый, с прослоями песка пылеватого – 8,3 м.

Инженерно-геологические условия площадки № 13 представлены следующими элементами:

ИГЭ-1 Насыпной грунт – 0,3 м.

ИГЭ-2 Песок коричнево-серый, мелкозернистый – 0,9 м.

ИГЭ-3 Суглинок бурый, тугопластичный – 4,0 м.

ИГЭ-4 Глина вишнево-коричневая, тугопластичная, со щебнем – 1,8 м.

ИГЭ-5 Суглинок коричневый полутвердый – 3,6 м.

Инженерно-геологические условия площадки № 14 представлены следующими элементами:

ИГЭ-1 Песок мелкий, желтый – 1,0 м.

ИГЭ-2 Галечниковый грунт с песчаным заполнителем – 1,2 м.

ИГЭ-3 Суглинок элювиальный, шоколадного цвета, полутвердый – 3,5 м.

ИГЭ-4 Суглинок темно-коричневый, твердый – 6,2 м.

Инженерно-геологические условия площадки № 15 представлены следующими элементами:

ИГЭ-1 Песок мелкий, буровато-серый, с примесью гравия – 1,0 м.

ИГЭ-2 Супесь коричнево-бурая, твердая, с включением гравия – 1,4 м.

ИГЭ-3 Песок гравелистый, коричневатого-желтый – 4,5 м.

Инженерно-геологические условия площадки № 16 представлены следующими элементами:

ИГЭ-1 Песок мелкий, с примесью гравия – 0,8 м.

ИГЭ-2 Суглинок коричнево-бурый, тугопластичный, с включением гравия – 2,0 м.

ИГЭ-3 Песок гравелистый, серовато-бурый, плотный – 5,4 м.

Инженерно-геологические условия площадки № 17 представлены следующими элементами:

ИГЭ-1 Почвенный слой – 0,3 м.

ИГЭ-2 Песок мелкий, коричневый – 0,9 м.

ИГЭ-3 Суглинок коричневый, полутвердый, с прослойками песка – 0,8 м.

ИГЭ-4 Песок средней крупности, с галькой – 0,5 м.

ИГЭ-5 Гравийный грунт с суглинистым заполнителем – 0,4 м.

ИГЭ-6 Песок гравелистый, коричневатого-желтый – 2,6 м.

ИГЭ-7 Гравийный грунт с песчаным заполнителем – 2,0 м.

Инженерно-геологические условия площадки № 18 представлены следующими элементами:

ИГЭ-1 Насыпной грунт – 0,5 м.

ИГЭ-2 Песок мелкий – 0,9 м.

ИГЭ-3 Суглинок коричневый, полутвердый, с гравием – 2,2 м.

ИГЭ-4 Глина малинового цвета, твердая – 1,8 м.

ИГЭ-5 Аргиллит темно-малиновый, средней крепости, трещиноватый, с прослойками песчаника – 9,5 м.

Инженерно-геологические условия площадки № 19 представлены следующими элементами:

ИГЭ-1 Почвенный слой – 0,4 м.

ИГЭ-2 Суглинок бурый, желтовато-коричневый, тугопластичный – 3,4 м.

ИГЭ-3 Супесь желтовато-коричневая, твердая, с галькой и гравием – 1,2 м.

ИГЭ-4 Глина вишнево-коричневая, со щебнем и дресвой – 2,0 м.

ИГЭ-5 Песчаник коричневый, слабосцементированный, с тонкими прослойками аргиллита – 0,6 м.

ИГЭ-6 Аргиллит красновато-коричневый, сильно выветрелый, трещиноватый, обводнен – 7,4 м.

Инженерно-геологические условия площадки № 20 представлены следующими элементами:

ИГЭ-1 Насыпной грунт – 0,3 м.

ИГЭ-2 Песок мелкозернистый, желтовато-бурый, маловлажный – 1,1 м.

ИГЭ-3 Суглинок бурый, мягкопластичный – 2,1 м.

ИГЭ-4 Гравийный грунт с песчаным заполнителем – 1,5 м.

ИГЭ-5 Глина желтоватая и бурая, мягкопластичная – 0,5 м.

ИГЭ-6 Глина красно-бурая, тугопластичная – 3,5 м.

Данные по площадкам сведены в таблицу 2.4.

Таблица 2.4 – Характеристики площадок

Номер площадки	Адрес	Тип фундамента	Тип грунта основания фундамента	Расстояние до источника, м
1	Петропавловская, 78	ФМЗ	Суглинок серый, иловатый, влажный (ИГЭ-3)	11,2
2	Петропавловская, 72	ФМЗ	Суглинок легкий песчанистый полутвердый, гравелистый (ИГЭ-3)	15,1
3	Екатерининская, 196	СФ	Суглинок элювиальный, твердой и полутвердой консистенции (ИГЭ-12)	13,9
4	Екатерининская, 194	СФ	Аргиллит коричневый сильно выветрелый, весьма низкой прочности, размягчаемый (ИГЭ-16)	17,6
5	Екатерининская, 184	ФМЗ	Песок желтый мелкозернистый, водонасыщенный, слабый (ИГЭ-5)	11,2
6	Пушкина, 25 (с Пушкина)	СФ	Глина темно-коричневая с фиолетовым оттенком полутвердой и твердой консистенции (ИГЭ-7)	15,9
7	Пушкина, 25 (с Г. Звезда)	СФ	Глина темно-коричневая твердая (ИГЭ-6)	12,7
8	Пушкина, 23 (с Пушкина)	СФ	Глина легкая дресвяная полутвердая (ИГЭ-4)	15,6
9	Пушкина, 23 (с Г. Звезда)	СФ	Аргиллит темно-коричневый сухой, крепкий, с прослойками серого песчаника на карбонатном цементе, трещиноватый (ИГЭ-7)	35,9
10	Пушкина, 21 (с Пушкина)	СФ	Суглинок красновато-коричневый тугопластичный, с дресвой и щебнем аргиллита (ИГЭ-5)	16,5

Номер площадк и	Адрес	Тип фунда- мента	Тип грунта основания фундамента	Расстояние до источника, м
11	Пушкина, 21 (с Луначарского)	СФ	Глина серая полутвердая, со щебнем аргиллита (ИГЭ-4)	13,8
12	Пушкина, 11	СФ	Суглинок серовато-коричневый, твердый, с прослоями песка пылеватого (ИГЭ-6)	36,5
13	Пушкина, 27	СФ	Суглинок коричневый полутвердый (ИГЭ-5)	15,4
14	Луначарского, 128	ФМЗ	Суглинок элювиальный, шоколадного цвета, полутвердый (ИГЭ-3)	12,9
15	Луначарского, 135	ФМЗ	Песок гравелистый, коричневато-желтый (ИГЭ-3)	9,5
16	Луначарского, 133	ФМЗ	Песок гравелистый, серовато-бурый, плотный (ИГЭ-3)	12,9
17	Луначарского, 134	ФМЗ	Песок гравелистый, коричневато-желтый (ИГЭ-6)	9,5
18	Луначарского, 96	СФ	Аргиллит темно-малиновый, средней крепости, трещиноватый, с прослойками песчаника (ИГЭ-5)	16,3
19	Луначарского, 94	СФ	Аргиллит красновато-коричневый, сильно выветрелый, трещиноватый, обводнен (ИГЭ-6)	14,8
20	Луначарского, 90	ФМЗ	Суглинок бурый, мягкопластичный (ИГЭ-3)	14,8

Примечание: ФМЗ – фундамент мелкого заложения, СФ – свайный фундамент

Т.к. эксперимент проводился в левобережной части города Перми, то можно сделать вывод, что наиболее характерными грунтами основания являются четыре типа грунтов – пески, глины, суглинки и аргиллиты.

Характеристики грунтов основания приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Характеристики грунтов основания

Номер площа- дки	Адрес	Тип фунда- мента	Тип грунта основания	Е, МПа	С, кПа	φ, град	ρ, г/см ³
1	Петропавловская, 78	ФМЗ	Суглинок серый, иловатый, влажный	4,5	9	11	1,91
2	Петропавловская, 72	ФМЗ	Суглинок легкий песчанистый полутвердый, гравелистый	6,3	8	9	1,96
3	Екатерининская, 196	СФ	Суглинок элювиальный, твердой и полутвердой консистенции	19,8	18	26	2,02
4	Екатерининская, 194	СФ	Аргиллит коричневый сильно выветрелый, весьма низкой прочности, размягчаемый	17,8	43	29	1,98
5	Екатерининская, 184	ФМЗ	Песок желтый мелкозернистый, водонасыщенный, слабый	14,1	0	33	1,7
6	Пушкина, 25 (с Пушкина)	СФ	Глина темно- коричневая с фиолетовым оттенком полутвердой и твердой консистенции	16,7	24	16	2,73
7	Пушкина, 25 (с Г. Звезда)	СФ	Глина темно- коричневая твердая	16,7	24	16	2,73
8	Пушкина, 23 (с Пушкина)	СФ	Глина легкая дресвяная полутвердая	15,4	22	18	2,05

Продолжение таблицы 2.5

Номер площадки	Адрес	Тип фундамента	Тип грунта основания	E, МПа	C, кПа	φ, град	ρ, г/см ³
9	Пушкина, 23 (с Г. Звезда)	СФ	Аргиллит темно-коричневый сухой, крепкий, с прослойками серого песчаника на карбонатном цементе, трещиноватый	17,8	43	29	2,05
10	Пушкина, 21 (с Пушкина)	СФ	Суглинок красновато-коричневый тугопластичный, с дресвой и щебнем аргиллита	8,3	24	20	1,9
11	Пушкина, 21 (с Луначарского)	СФ	Глина серая полутвердая, со щебнем аргиллита	17,2	23	15	2,73
12	Пушкина, 11	СФ	Суглинок серовато-коричневый, твердый, с прослоями песка пылеватого	8,1	10	16	1,87
13	Пушкина, 27	СФ	Суглинок коричневый полутвердый	7,8	26	18	1,87
14	Луначарского, 128	СФ	Суглинок элювиальный, шоколадного цвета, полутвердый	20	23	22	1,99
15	Луначарского, 135	ФМЗ	Песок гравелистый, коричневатого-желтый	33	0	36	2,65
16	Луначарского, 133	ФМЗ	Песок гравелистый, серовато-бурый, плотный, водоносный	24	0	32	1,65

Номер площадки	Адрес	Тип фунда-мента	Тип грунта основания	E, МПа	C, кПа	φ, град	ρ, г/см ³
17	Луначарского, 134	ФМЗ	Песок гравелистый, коричневатого-желтый	21	0	32	1,65
18	Луначарского, 96	СФ	Аргиллит темно-малиновый, средней крепости, трещиноватый, с прослойками песчаника	17,8	43	29	2,05
19	Луначарского, 94	СФ	Аргиллит красновато-коричневый, сильно выветрелый, трещиноватый, обводнен	21	45	20	1,95
20	Луначарского, 90	ФМЗ	Суглинок бурый, мягкопластичный	10,5	20	12	2,07

Примечание: СФ – свайный фундамент, ФМЗ – фундамент мелкого заложения

2.3.3. Методика проведения натурального эксперимента

При проведении эксперимента использовался один датчик, который устанавливался на наружной стене здания, как правило в уровне обреза фундамента, обращенной к магистрали. В каждой исследуемой точке он устанавливался в двух положениях – вертикальном и горизонтальном, перпендикулярном плоскости стены здания. Замеры виброускорения в горизонтальной плоскости, параллельной плоскости стены здания, не проводились, т.к. предыдущие исследования показали, что их значения значительно меньше по сравнению с перпендикулярным направлением.

Датчик крепился на несущую конструкцию стены в уровне цоколя, на высоте около 5 см от поверхности земли. Измерения проводились при расположении датчика вертикально и горизонтально.

Датчик устанавливался на металлический уголок 75x75x6 мм длиной 15 см. Уголок крепился к конструкции на два анкерных болта 10x120 мм. На рисунке 2.17 показана схема крепления датчика.

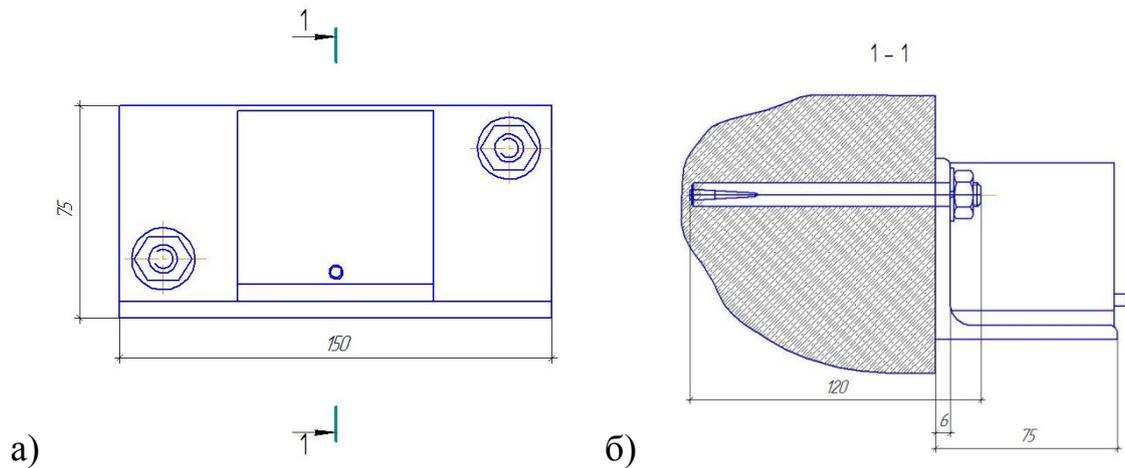


Рисунок 2.17 – Схема крепления датчика

а – вид, б – разрез

При расположении здания параллельно к проезжей части датчик устанавливался в трех точках – по углам стены и в середине стены. При расположении здания перпендикулярно проезжей части датчик устанавливался в одной точке посередине стены.

В каждой точке при каждой ориентации датчика проводились пять замеров по каждому виду транспорта. 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. Измерения проводились при подходе транспортного средства, его проезде мимо точки установки датчика и удалении от нее (рисунок 2.18). Всего было проведено порядка 1000 опытов, с 3-х кратной минимальной повторяемостью.

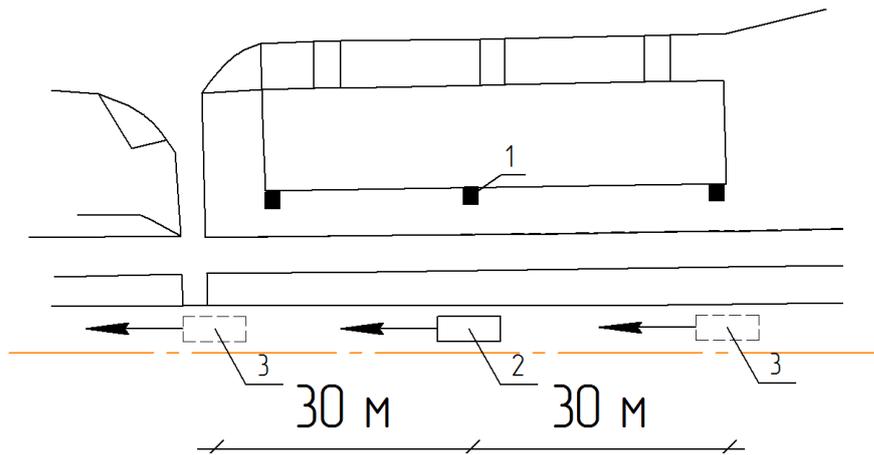


Рисунок 2.18 – Схема эксперимента

1 – точка установки датчика, 2 – транспортное средство в момент нахождения его на кратчайшем расстоянии от датчика, 3 – транспортное средство в точке начала и окончания фиксации замера

При выполнении эксперимента в несущей конструкции наружной стены предварительно проделывались два отверстия \varnothing 10 мм глубиной 100 мм, куда затем устанавливались анкерные болты 10x120 мм. После этого на анкерные болты монтировался уголок 75x75x6 мм длиной 15 см полкой вниз, к которому с помощью встроенного магнита вертикально или горизонтально устанавливался датчик. Для непосредственного измерения датчик подключался к ноутбуку через внешний модуль АЦП. Далее на ноутбуке запускалась программа «L-Graph» и производились измерения путем включения записи в программе «L-Graph». Полученные результаты сохранялись в отдельный файл.

Для проведения эксперимента был собран измерительный комплекс, состоящий из датчика, аккумулятора, внешнего модуля АЦП и ноутбука (рисунок 2.19).

В качестве датчика применен однокомпонентный сейсмический акселерометр ВС 130, который предназначен для регистрации механических колебаний и преобразования их в пропорциональный электрический сигнал. Первичная обработка сигнала и передача его на ноутбук происходит с помощью модуля аналого-цифрового преобразователя (АЦП) E14-440 M «L-Card».

Дальнейшая обработка полученных измерений производится на ноутбуке с помощью программы «L-Graph». Данная программа позволит отслеживать запись в режиме реального времени, а также обрабатывать полученные данные, сохранять их в текстовом или графическом формате.



Рисунок 2.19 – Комплекс оборудования в рабочем положении

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

С учетом анализа результатов, полученных при тестовом эксперименте, для натурального эксперимента рассматриваемые параметры были уточнены.

Как и в тестовом эксперименте, автотранспорт был поделен на 4 категории с учетом наиболее распространенных на территории города видов транспорта:

1. Легковые автомобили – автомобили массой 1,5-2 т, принята масса 2 т, максимальная нагрузка на ось 10 кН.
2. Автомобили типа «Газель» – автомобили массой 2,5-4 т, принята масса 4 т, максимальная нагрузка на ось 25 кН.
3. Автобусы, троллейбусы – масса 18 т, максимальная нагрузка на ось 120 кН.
4. Грузовые автомобили – автомобили массой 18-24 т, принята масса 24 т, максимальная нагрузка на ось 100 кН.

Расстояние от источника вибрации до здания определялось исходя из условий конкретной площадки исследования. Оно составило от 9,5 до 36,5 м.

Грунтовые условия определялись исходя из типа фундамента исследуемого здания как грунты основания, залегающие непосредственно под острием сваи или подошвой фундамента.

Для каждого типа транспортного средства в каждом положении датчика в каждой точке установки датчика измерения проводились не менее 3-х раз. Данные записывались в отдельный файл, а затем обрабатывались: определялось среднее значение, затем определялось максимальное среднее значение.

Всего было проведено порядка более 1000 замеров.

Результаты измерений приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Виброускорение несущих конструкций в уровне цоколя, м/с^2

№ площадки	Расст. от проезжей части, м	Тип грунта	Тип фундамента	Нагрузка на ось, кН			
				120	25	10	100
Горизонтальная составляющая							
1	11,2	суглинок	ФМЗ		0,030463	0,009443	0,028403
10	16,5	суглинок	СФ	0,02964	0,00532	0,009443	
14	12,9	суглинок	ФМЗ	0,02964	0,01109	0,00532	0,02964
2	15,1	суглинок	ФМЗ		0,02324	0,021946	0,038709
3	13,9	суглинок	СФ	0,030877	0,012739	0,009304	0,02964
12	36,5	суглинок	СФ	0,030327	0,007382	0,008343	0,02964
13	15,4	суглинок	СФ	0,016816	0,006007	0,007564	
20	14,8	суглинок	ФМЗ		0,010473	0,004908	0,029847
6	15,9	глина	СФ	0,030877	0,00738	0,006557	
8	15,6	глина	СФ	0,02964	0,02593	0,010267	
11	13,8	глина	СФ	0,029227	0,006147	0,00532	0,02964
7	12,7	глина	СФ		0,022083	0,00697	
17	9,5	песок	ФМЗ	0,02964	0,005733	0,007793	0,030053
15	9,5	песок	ФМЗ	0,033074	0,010953	0,007519	0,034139
16	12,9	песок	ФМЗ	0,029228	0,007246	0,007107	0,02964
5	11,2	песок	ФМЗ	0,017273	0,015213	0,01274	0,02964

№ пло- щадки	Расст. от проезжей части, м	Тип грунта	Тип фунда- мента	Нагрузка на ось, кН			
				120	25	10	100
Горизонтальная составляющая							
4	17,6	аргиллит	СФ	0,028266	0,008754	0,010678	0,035136
9	35,9	аргиллит	СФ		0,010702	0,013977	
18	16,3	аргиллит	СФ	0,03067	0,006763	0,005527	0,030052
19	14,8	аргиллит	СФ	0,029778	0,012466	0,006008	0,029091
Вертикальная составляющая							
1	11,2	суглинок	ФМЗ		0,008617	0,006147	0,030053
10	16,5	суглинок	СФ	0,029227	0,029227	0,007793	
14	12,9	суглинок	ФМЗ	0,02964	0,00738	0,03129	0,0317
2	15,1	суглинок	ФМЗ		0,033487	0,023458	0,030464
3	13,9	суглинок	СФ	0,026618	0,010541	0,006969	0,038503
12	36,5	суглинок	СФ	0,031427	0,010816	0,017961	0,030463
13	15,4	суглинок	СФ	0,028449	0,008939	0,012281	
20	14,8	суглинок	ФМЗ		0,017892	0,011505	0,029847
6	15,9	глина	СФ	0,030053	0,012327	0,00738	
8	15,6	глина	СФ	0,029227	0,00738	0,034173	
11	13,8	глина	СФ	0,02964	0,01068	0,00532	0,02964
7	12,7	глина	СФ		0,016174	0,009442	
17	9,5	песок	ФМЗ	0,02964	0,022633	0,009443	0,029227
15	9,5	песок	ФМЗ	0,02964	0,010026	0,009717	0,030736
16	12,9	песок	ФМЗ	0,02964	0,006513	0,009854	0,030052
5	11,2	песок	ФМЗ	0,017687	0,013563	0,016863	0,02222
4	17,6	аргиллит	СФ	0,022358	0,01219	0,008892	0,024419
9	35,9	аргиллит	СФ		0,024831	0,013427	
18	16,3	аргиллит	СФ	0,031495	0,019335	0,006763	0,02861
19	14,8	аргиллит	СФ	0,03596	0,012328	0,027441	0,030186

2.4. Анализ полученных данных

Анализ полученных результатов данных показал следующее:

1. Наибольшие значения виброускорения были получены для вертикальной составляющей (рисунок 2.20). При этом в среднем разница между вертикальной и горизонтальной составляющими составляет 1,1 раза.

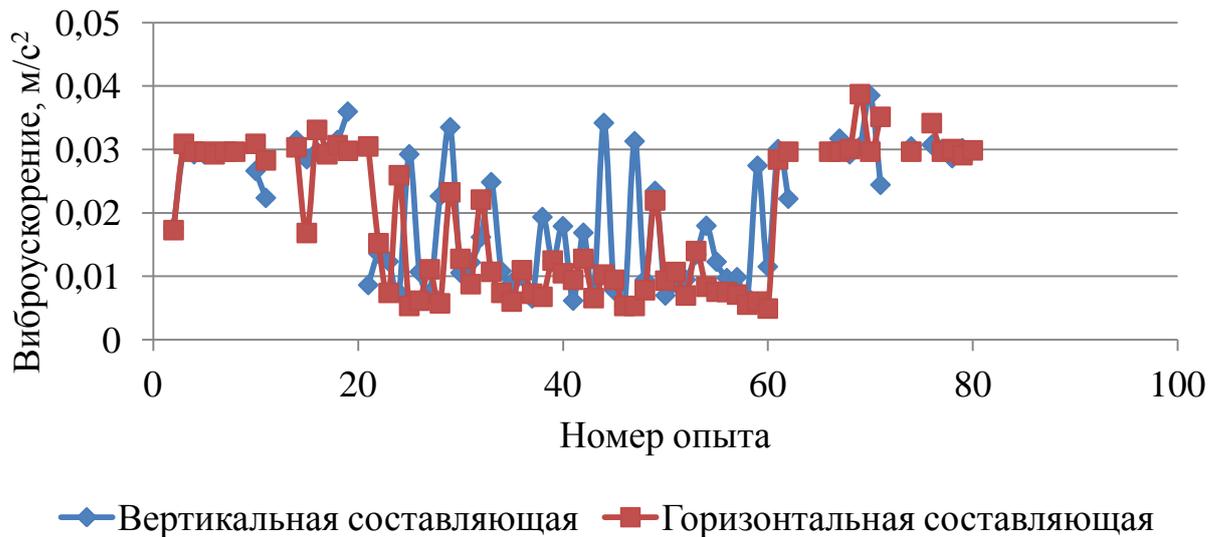


Рисунок 2.20 – Графики зависимости величины виброускорения от составляющей виброускорения

2. В среднем значения виброускорения, вызываемые движением автобусов и грузовых автомобилей, в 2,7 раза превышают виброускорения от движения легковых автомобилей; автомобилей типа «Газель» - в 2,2 раза (рисунок 2.21).

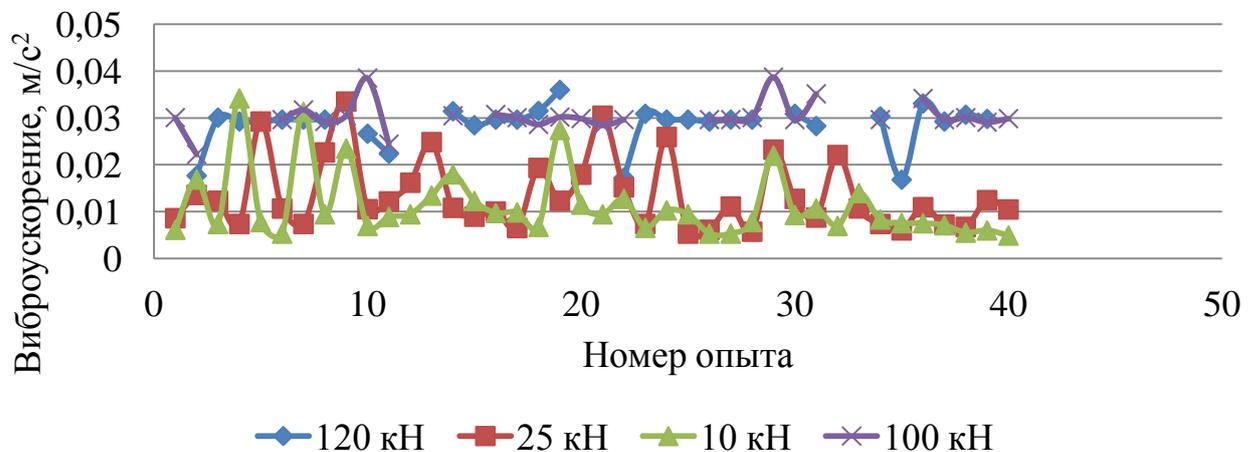


Рисунок 2.21 – Графики зависимости виброускорения от нагрузки на ось

3. Значения виброускорения для фундаментов мелкого заложения в среднем в 1,1 раза больше, чем для свайных фундаментов (рисунок 2.22).

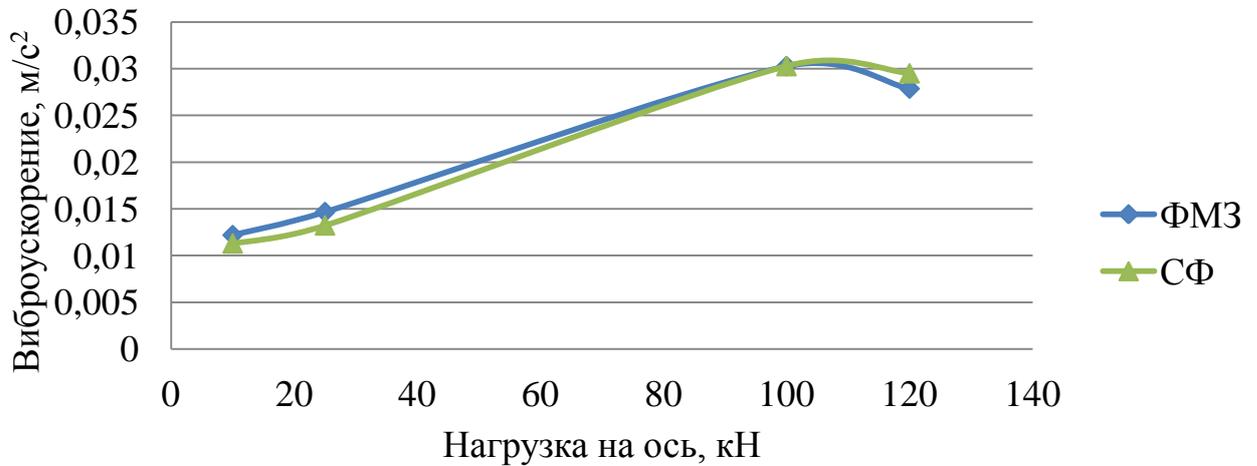


Рисунок 2.22 – Зависимость виброускорения от типа фундамента
ФМЗ – фундамент мелкого заложения, СФ – свайный фундамент

4. Здания, расположенные параллельно проезжей части, испытывают большую вибрационную нагрузку по сравнению со зданиями, расположенными перпендикулярно, в среднем в 1,1 раза (рисунок 2.23).

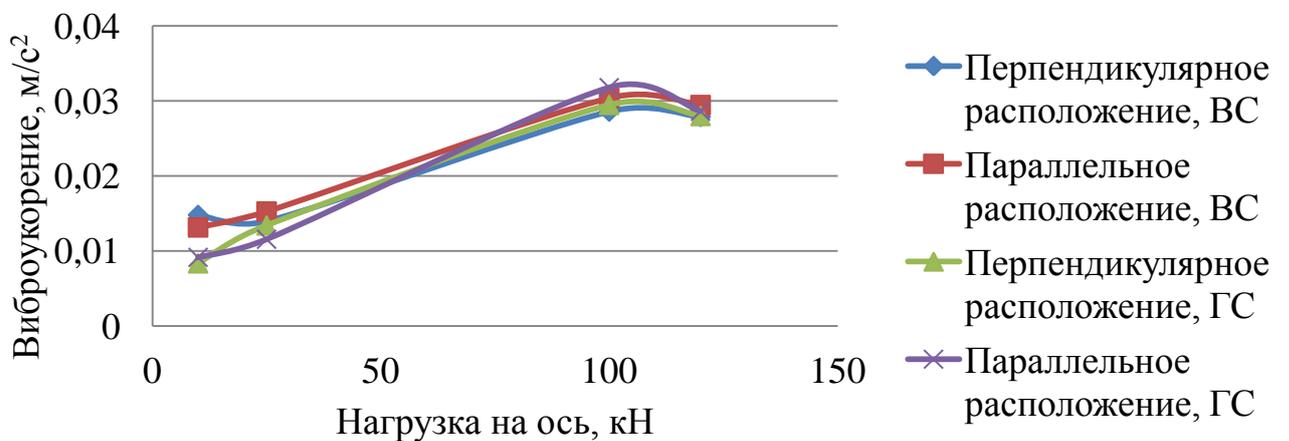


Рисунок 2.23 – Графики зависимости виброускорения от расположения здания на улице

5. Анализ значений виброускорений конструкций зданий, расположенных на различных расстояниях от проезжей части, однозначной зависимости не выявил.

2.5. Выводы по главе

Подготовка и проведение натурных экспериментов позволили сделать следующее:

1. Выбраны площадки для проведения эксперимента, представленные наиболее типичными для города Перми грунтовыми условиями.

2. Жилые здания на выбранных экспериментальных площадках построены по наиболее распространенным типовым проектам 60-80-х годов. При выборе зданий учитывался тип фундамента и грунтовое основание.

3. В качестве вибрационной нагрузки выбраны наиболее характерные для транспортного потока в центральной части города Перми типы автомобилей.

4. Комплект подобранного оборудования для определения вибрационного воздействия автотранспорта прошел тестовую проверку и подтвердил возможность его использования в натурных экспериментах.

5. В результате проведения натурных экспериментов были получены зависимости виброускорения от расстояния до источника, массы транспортного средства и типа грунта основания.

6. Выявлено, что наблюдается прямая зависимость величины виброускорения от массы транспортного средства. Значения, полученные для разных типов грунтов, отличаются при прочих равных условиях.

7. Анализ натурных экспериментов показал, что на величину виброускорения влияет расположение здания относительно улицы. При этом меньшее влияние вибрации оказывается при расположении здания перпендикулярно проезжей части.

8. Выявлено, что здания на свайных фундаментах меньше подвержены вибрационному воздействию по сравнению со зданиями на фундаментах мелкого заложения.

ГЛАВА 3. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИБРАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ АВТОТРАНСПОРТА НА КОНСТРУКЦИИ ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЙ

3.1. Цели и задачи численного моделирования

Цель главы – создание численной модели для исследования колебаний конструкций фундаментов при вибрационном воздействии, вызываемом проходящим автотранспортом.

Для этого был проведен анализ программного обеспечения для выполнения расчетов на динамическую нагрузку и разработана численная модель, на основании которой решены тестовые задачи.

При выборе программного продукта предварительно были рассмотрены следующие программы, позволяющие проводить расчеты на динамическую нагрузку: ЛИРА-САПР Система ДИНАМИКА-плюс (Россия), PLAXIS 3D Dynamics (Нидерланды), GeoStudio Quake/W (Канада).

При этом учитывалась возможность задания параметров грунтов, в том числе динамических, и получения зависимостей различных выходных параметров.

При выборе программного комплекса необходимо также учесть, что колебания конструкций, вызываемые автотранспортом, имеют значения, которые значительно меньше колебаний, возникающих при других динамических воздействиях на конструкции.

На основании выполненного анализа было установлено, что программный комплекс GeoStudio отвечает данным требованиям наиболее полно. Модуль Quake/W комплекса предназначен для выполнения расчетов на сейсмическое воздействие, с которым сопоставим уровень транспортного воздействия.

3.2. Описание программного комплекса GeoStudio Quake/W

Динамический анализ в указанном программном комплексе основан на решении методом конечных элементов уравнения движения следующего вида:

$$[K] \{d\} + [D] \{v\} + [M] \{a\} = \{F\}, \quad (3.1)$$

где d – смещение; v – скорость; a – ускорение; $[K]$ – матрица жесткости; $[D]$ – матрица затухания колебаний; $[M]$ – матрица масс; $\{F\}$ – вектор узловых сил.

В основе создания численной модели в программном комплексе лежит метод конечных элементов. Исследуемая область разбивается на структурированные ячейки правильной формы, как правило – квадратной или треугольной. При этом на ячейки может разбиваться как грунтовый массив, так и другие элементы. Разбивка на ячейки производится автоматически, пользователь выбирает только тип ячеек и их размер.

Грунтовый массив разбивается на области, каждая из которых соответствует определенному инженерно-геологическому элементу. При этом в качестве модели грунта принята линейно-упругая модель (Linear-Elastic model).

Ячейки одной области имеют одинаковые характеристики. Для каждой области задаются следующие параметры: удельный вес, γ ; коэффициент Пуассона, ν ; коэффициент демпфирования; упругий модуль сдвига (может быть задан значением или функцией) G_{\max} .

Параметры, вводимые для расчета, определялись исходя из требований, указанных в описании программного комплекса [79].

Коэффициент K_0 (коэффициент бокового давления) рассчитывается программой автоматически.

Для выполнения расчетов задаются граничные условия. Например, следующие параметры:

1. Категория граничных условий – что ограничивается (растяжение сдвиг, поворот, оба),
2. Тип граничных условий (нулевой поворот, величина смещения по оси X, Y, X/Y). Может задаваться или значением, или функцией.

3. Тип воздействия (нагрузка, сила или смещение).

4. Опции граничных условий:

- для нагрузки (все параметры задаются значением или функцией) – нормальная/тангенциальная нагрузка, нагрузка X-Y, гидростатическое давление

- для силы или смещения (все параметры задаются значением или функцией) – X/Y-перемещение, X/Y-сила, X/Y-колебание.

На рисунке 3.1 приведен пример окна функции «Задание материала», где задаются грунтовые условия площадки.

Также в программе указывается вибрационная нагрузка, которая может быть как сосредоточенной, так и распределенной. При этом нагрузка прикладывается в точках, заранее определенных пользователем как узловые. На рисунке 3.2 приведен пример окна функции «Задание граничных условий».

На рисунке 3.3 приведен пример окна функции «Задание условий динамического воздействия».

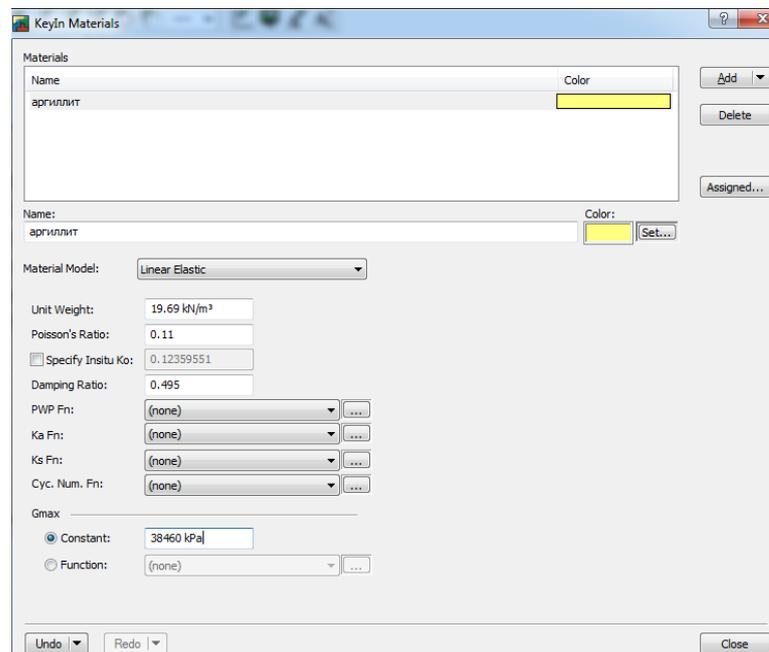


Рисунок 3.1 – Пример окна функции «Задание материала»

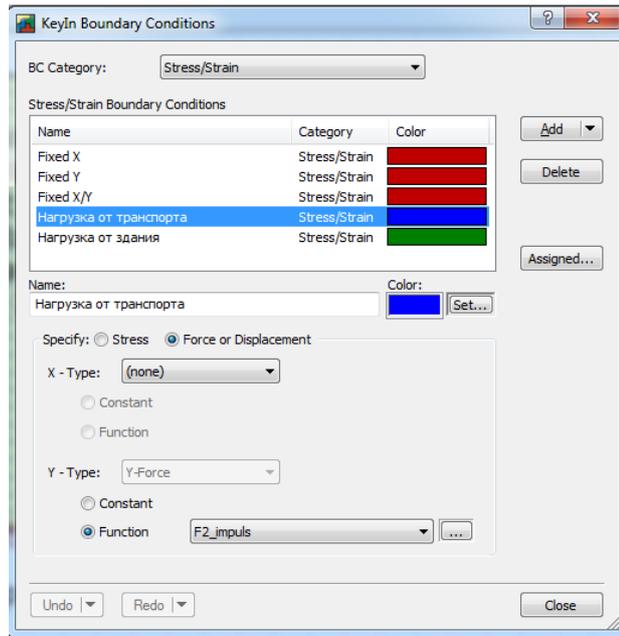


Рисунок 3.2 – Пример окна функции «Задание граничных условий»

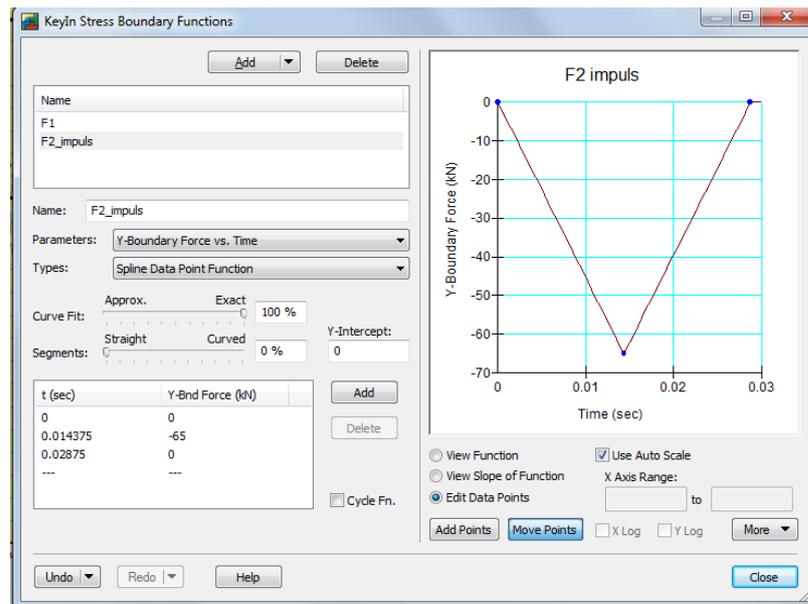


Рисунок 3.3 – Пример окна функции
«Задание условий динамического воздействия»

К исходным данным также относится задание расчетных точек, т.е. точек, параметры колебания которых будут записываться.

Моделирование нагрузки на грунт от здания задано путем введения в расчет фундамента как конструкционного элемента. На рисунке 3.4 показан пример

задания материала фундамента. На рисунке 3.5 приведен пример задания нагрузки от здания.

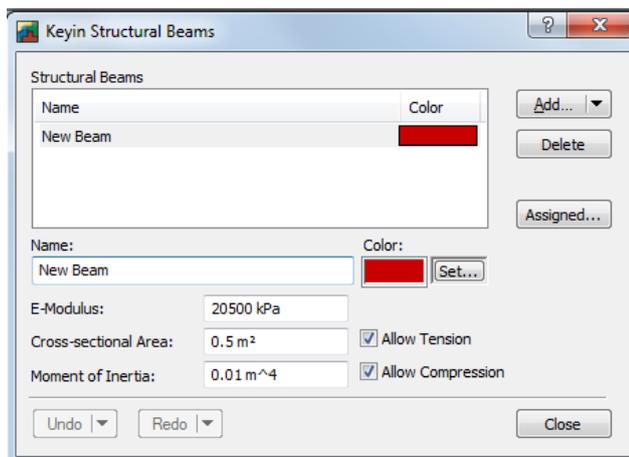


Рисунок 3.4 – Пример введения характеристик конструкционного элемента – фундамента

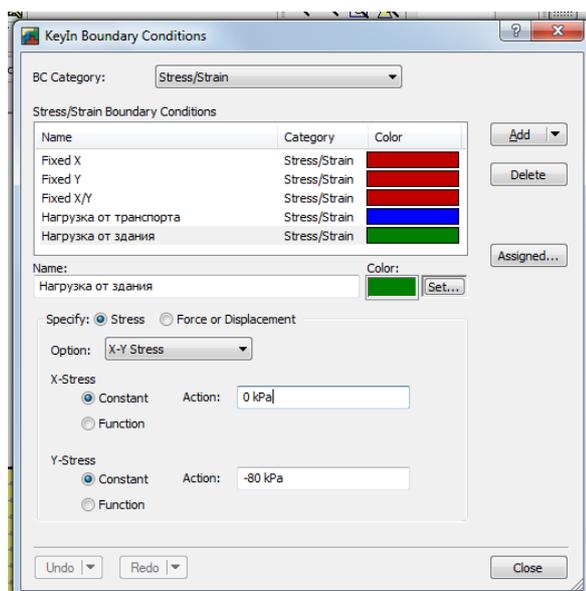


Рисунок 3.5 – Пример окна функции «Задание нагрузки»

Результатом расчетов GeoStudio Quake/W является массив данных, который формируется для каждой указанной узловой точки. В качестве измеряемого параметра можно принять: полное напряжение (по осям X, Y, Z), напряжение сдвига (по совокупности осей XY), скорость (по осям X и Y), ускорение (по осям X и Y), перемещение (по осям X и Y), деформация (по осям X, Y, Z), поровое давление.

На рисунке 3.6 показано окно функции вывода данных. Данные выводятся в виде графической зависимости выбранного параметра. Кроме этого данные сохраняются в текстовом виде, который затем можно использовать в других программах для обработки данных.

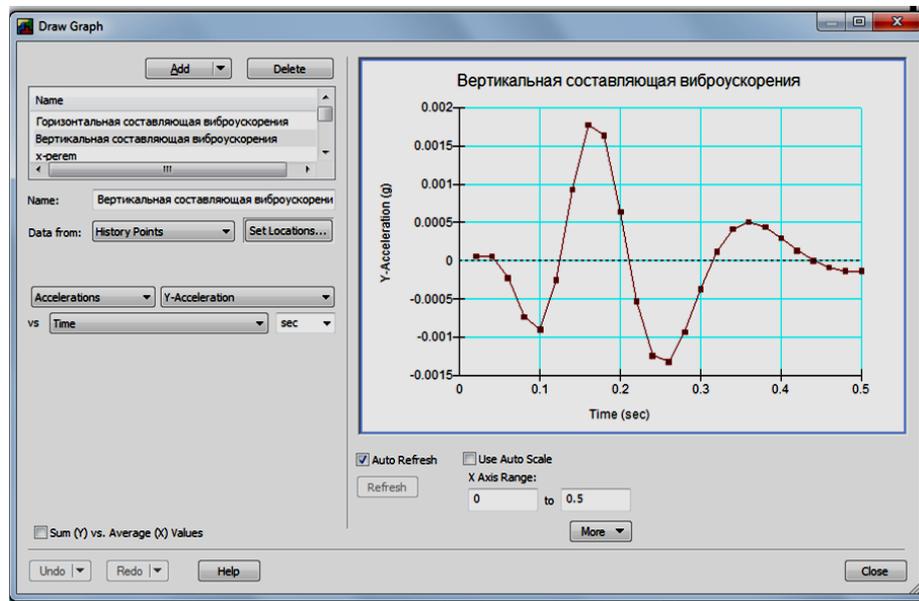


Рисунок 3.6 – Пример окна вывода данных

3.3. Выбор значений параметров моделирования

При проведении натурального эксперимента исследовались здания с фундаментами двух типов – свайным и мелкозаложенным. Всего при натурном эксперименте было рассмотрено 20 площадок. Инженерно-геологическое строение площадок описано в главе 2. Для упрощения задачи в качестве рассматриваемого инженерно-геологического элемента был принят грунт основания исследуемого фундамента. Таким образом, выделено четыре типа площадок со следующими геологическими условиями: суглинки, глины, пески, аргиллиты.

Усредненные характеристики, требуемые для дальнейших расчетов и моделирования, приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Характеристики грунтов на площадках

Тип грунта основания	Число пластичности, I_p	Плотность, ρ , гр/см ³	Удельный вес, γ , кН/м ³	Коэффициент Пуассона, ν
Суглинок	12,7	1,95	19,12	0,15
Песок	-	1,66	16,12	0,13
Аргиллит	19,5	2,01	19,69	0,11
Глина	19,94	1,80	17,66	0,16

В качестве исходных данных в программном комплексе также принимается коэффициент демпфирования [81], который определяется по следующей формуле:

$$\xi = 0,333 \frac{1 + \exp - 0,0145 PI^{1,3}}{2} \left[0,586 \left(\frac{G}{G_{max}} \right)^2 - 1,547 \frac{G}{G_{max}} + 1 \right] \quad (3.2)$$

где \exp – число Эйлера, $e=2,72$; обозначение, применяемое в англоязычной литературе;

PI – число пластичности; обозначение, применяемое в англоязычной литературе (I_p – согласно [23]);

$\frac{G}{G_{max}}$ – отношение модуля сдвига к упругому модулю сдвига, определяется по формуле (3.3).

Отношение модуля сдвига к упругому модулю сдвига

$$\frac{G}{G_{max}} = K(\gamma, PI) \cdot \sigma_m^{m(\gamma, PI) - m_0} \quad (3.3)$$

где $K(\gamma, PI)$ – коэффициент, зависящий от числа пластичности и удельного веса грунта, определяется по формуле (3.4);

σ_m – среднее напряжение, определяется по формуле (3.6);

$m(\gamma, PI) - m_0$ – безразмерный коэффициент, определяется по формуле (3.8).

Коэффициент $K(\gamma, PI)$:

$$K(\gamma, PI) = 0,5 \left\{ 1 + \tanh \left[\ln \left(\frac{0,000102 + n(PI)}{\gamma} \right)^{0,492} \right] \right\} \quad (3.4)$$

где $\tanh(x)$ - гиперболический тангенс; обозначение, применяемое в англоязычной литературе, в российской литературе принято обозначение $\text{th}(x)$;

$n(PI)$ – коэффициент, зависящий от числа пластичности PI ; согласно [81] коэффициент n для грунтов с $0 < PI(I_p) < 15$ равен

$$n = 3,37 \cdot 10^{-6} \cdot PI^{1,404} \quad (3.5)$$

γ – удельный вес грунта.

Среднее напряжение определяется по формуле

$$\sigma_m = \frac{\sigma_v + K_0 \cdot \sigma_v + K_0 \cdot \sigma_v}{3} \quad (3.6)$$

где σ_v – вертикальное давление, определяется по формуле (3.7);

$$\sigma_v = h \cdot \gamma \quad (3.7)$$

где h – глубина заложения фундамента;

γ - удельный вес грунта.

Безразмерный коэффициент $m(\gamma, PI) - m_0$:

$$m(\gamma, PI) - m_0 = 0,272 \left\{ 1 - \tanh \left[\ln \left(\frac{0,000556}{\gamma} \right)^{0,4} \right] \right\} \exp - 0,0145 PI^{1,3} \quad (3.8)$$

По приведенным формулам был определен коэффициент демпфирования для грунтов оснований фундаментов на каждой площадке. Результаты расчета коэффициента демпфирования приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Коэффициент демпфирования грунтов на площадках

	Тип грунта основания	Коэффициент демпфирования ξ
1.	Суглинок	0,415
2.	Песок	0,502
3.	Аргиллит	0,495
4.	Глина	0,333

Для проведения численного эксперимента в программе также необходимо рассчитать упругий модуль сдвига, который определяется по формуле

$$G_0 = \rho V_S^2 \quad (3.9)$$

где ρ – плотность грунта,

V_S – скорость поперечной волны в грунте.

Согласно нормативным документам [55] значение скорости поперечной волны в различных грунтах составляет 100-3200 м/с (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Скорость упругих волн в различных грунтах
(по Н.Н. Горяинову и Ф.М. Ляховицкому) [55]

Наименование	Состояние	V_s , м/с	Наименование	Состояние	V_s , м/с
Галечники	Неводонасыщенное	250-500	Глины	Неводонасыщенное	100-400
	Водонасыщенное	250-500		Водонасыщенное	100-400
	Мерзлое (-3^0 С)	2000-2600		Мерзлое (-3^0 С)	800-1200
Пески	Неводонасыщенное	150-300	Песчаники	Неводонасыщенное	500-2500
	Водонасыщенное	150-300		Водонасыщенное	500-2500
	Мерзлое (-3^0 С)	1800-2200		Мерзлое (-3^0 С)	1900-2800
Супеси	Неводонасыщенное	120-280	Известняки	Неводонасыщенное	500-2800
	Водонасыщенное	120-280		Водонасыщенное	500-2800
	Мерзлое (-3^0 С)	1500-1900		Мерзлое (-3^0 С)	2000-3000
Суглинки	Неводонасыщенное	100-250	Граниты	Неводонасыщенное	800-3000
	Водонасыщенное	100-250		Водонасыщенное	800-3000
	Мерзлое (-3^0 С)	1200-1500		Мерзлое (-3^0 С)	2200-3200

При проведении численного моделирования расчеты, выполненные с применением указанных в таблице граничных значений, показали, что получаемые при этом результаты не описывают реальную картину, т.к. значительно отличаются от натурального эксперимента. Поэтому для получения

значений скоростей был применен метод многоканального анализа поверхностных волн (МАПВ), что позволило получить реальные значения характеристик грунта. Методики исследования активным и пассивным типами МАПВ описаны в [3, 82-84]. Полученные результаты приведены в [4, 5, 75]

Для регистрации колебаний поверхностных волн использовалась 24-канальная телеметрическая сейсморазведочная система ТЕЛСС-3. Данные от системы в цифровой форме в формате SEG-Y передавались на компьютер, где обрабатывались с помощью программного комплекса ParkSEIS 2015. Натурный эксперимент описан в [4]. На рисунке 3.7 показан пример профиля скоростей грунта при активном методе.

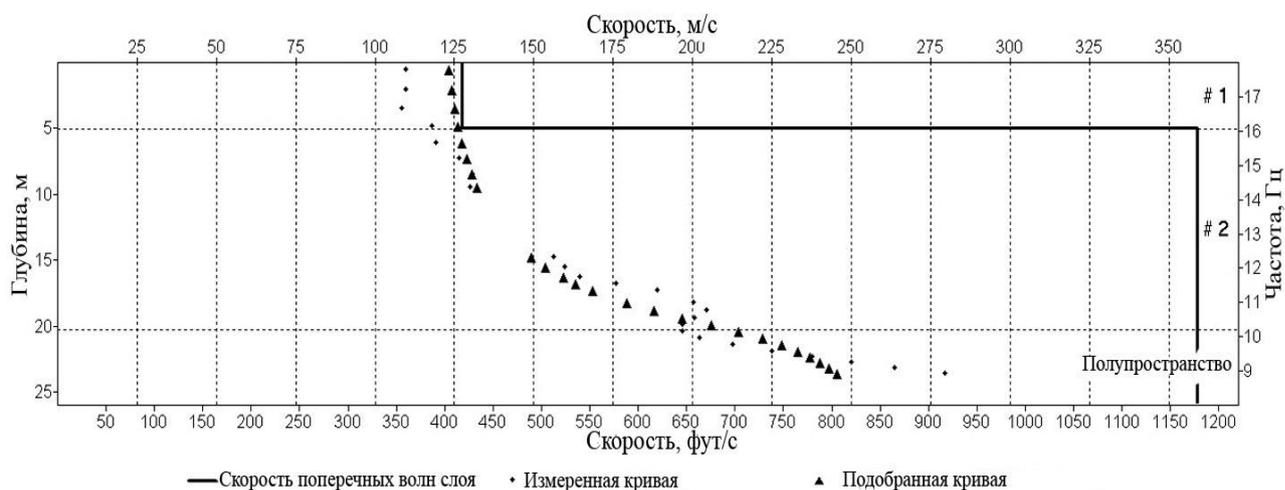


Рисунок 3.7 – Профиль скоростей V_s принятой модели грунта при активном методе

Результаты измерений скоростей и рассчитанные упругие модули сдвига приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Средние значения скоростей и упругих модулей сдвига

Тип грунта основания	Скорость, м/с	Упругий модуль сдвига, МПа
Суглинок	130	32,32
Песок	120	23,90
Аргиллит	140	38,46
Глина	150	39,74

В качестве одного из параметров граничных условий было принято приложение вертикальной нагрузки в точке – таким образом имитировалось вибрационное воздействие от одиночного автомобиля. Более подробно расчетные схемы описаны в разделе 3 главы 3.

Исходными данными также были приняты расстояния от источника до точки измерения. В главе 2 приведено описание натурального эксперимента, на основании которого были выбраны параметры для численного моделирования. Минимальное расстояние составило 9,5 м, максимальное – 36,5 м. Поэтому при выполнении численного моделирования узловые точки закреплялись на указанных расстояниях от фундамента.

3.4. Расчетные схемы проезжающего автомобиля

В работе моделируется динамическое воздействие от одиночного движущегося автомобиля в момент проезда его мимо рассматриваемой точки.

При расчетах дорожного и земляного полотна равномерно распределенная нагрузка не учитывается, прикладываются только точечные нагрузки от колес [25] без учета размеров пятна контакта колес с дорожным полотном. Для учета динамического характера нагрузки вводится коэффициент динамичности 1,3 [45]. Принятая расчетная схема показана на рисунке 3.8.

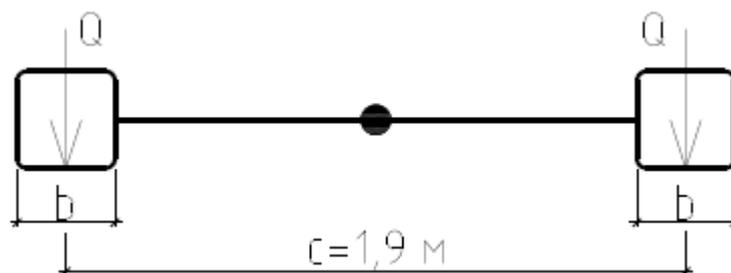


Рисунок 3.8 – Принятая расчетная схема нагрузки, размеры в метрах:

b – ширина пятна контакта колеса; c – ширина колеи нагрузки

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 определить длину пятна контакта колеса с дорожным полотном. Реальное пятно контакта колеса имеет форму эллипса, но для определения его размеров допускается принимать равновеликий по площади гибкий круговой штамп диаметром D , передающий равномерно распределенную нагрузку величиной p [45]. Величину p принимают равной давлению воздуха в шинах, обычно 0,6 МПа. Диаметр расчетного отпечатка шины D определяют из зависимости:

$$D = \sqrt{\frac{40 \cdot Q_{расч}}{\pi \cdot p}}, \text{ см}, \quad (3.10)$$

где $Q_{расч}$ – расчетная величина нагрузки, передаваемой колесом на поверхность покрытия, кН; $Q_{расч}=37,5$ кН.

p – давление воздуха в шине, МПа.

Принимаем ширину пятна b по таблице 3.6 в зависимости от типа автомобиля. Тогда, не учитывая рисунок протектора шины, считаем, что площадь круглого отпечатка равна площади эллиптического пятна контакта:

$$\begin{aligned} S_{\text{круга}} &= S_{\text{эллипса}} \\ \pi \cdot \frac{D^2}{4} &= \pi \cdot \frac{a}{2} \cdot \frac{b}{2} \\ a &= \frac{40 \cdot Q_{расч}}{\pi \cdot p \cdot b}, \text{ см} \end{aligned} \quad (3.11)$$

Время действия нагрузки определяют по формуле для равномерного прямолинейного движения:

$$t = \frac{a}{v_{ср}}, \text{ с} \quad (3.12)$$

Принятые параметры расчетных схем автомобилей следующие приведены в таблице 3.5. При выборе расчетной схемы учитывалось, что задняя тележка грузового автомобиля, автобуса и задняя ось автомобиля типа «Газель» имеют спаренные колеса.

Таблица 3.5 – Расчетные схемы автомобилей

Тип автомобиля	Масса, т	Нагрузка на ось, т			Нагрузка на колесо, т/кН	Динамическая нагрузка на колесо, кН
		1 ось	2 ось	3 ось		
Натурный эксперимент						
Грузовой*	25	5	10	10	5/50	65
Автобус*	18	6	12	-	6/60	78
«Газель»*	4	1,5	2,5	-	1,25/12,5	16,25
Легковой	2	1	1	-	0,5/5	6,5
Численное моделирование						
Легковой1	2	1	1	-	0,5/5	6,5
«Газель»1*	9,7	3	6,7	-	3,46/34,6	45,0
Автобус1*	17,4	5	12,4	-	6,2/62,0	80,6
Грузовой1*	25	5	10	10	5/50	65

* Задняя тележка грузового автомобиля, автобуса и ось автомобиля типа «Газель» имеет спаренные колеса

Подставляя расчетные значения в (3.11) получаем длину пятна контакта (таблица 3.6). Принимая среднюю скорость движения автомобиля равной $v_{cp}=28,8$ км/ч (8 м/с), можно найти время действия нагрузки по формуле (3.12) (таблица 3.6).

Таблица 3.6 – Расчетные параметры движения автомобиля

Тип автомобиля	Ширина пятна контакта колеса, см	Длина пятна контакта, см	Время действия нагрузки, с
Натурный эксперимент			
Грузовой*	60	23,0	0,02875
Автобус*	60	27,6	0,03450

Тип автомобиля	Ширина пятна контакта колеса, см	Длина пятна контакта, см	Время действия нагрузки, с
Натурный эксперимент			
«Газель»*	40	8,6	0,01075
Легковой	20	6,9	0,00863
Численный эксперимент			
Легковой1	20	6,9	0,00863
«Газель»1*	40	23,9	0,02986
Автобус1*	60	28,5	0,03565
Грузовой1*	60	23,0	0,02875

* Задняя тележка грузового автомобиля, автобуса и ось автомобиля типа «Газель» имеет спаренные колеса

3.5. Планирование численного моделирования

Для выполнения численного моделирования в GeoStudio Quake/W были созданы численные модели, которые учитывали факторы и условия, приведенные в главе 2 и разделах 1-3 настоящей главы.

Как уже было сказано в главе 2, при планировании эксперимента для исследования были выбраны следующие факторы:

1. Тип транспортного средства.
2. Расстояние от источника до точки измерения.
3. Грунтовые условия.

Для определения факторов были выбраны их характеристики:

1. Тип транспортного средства определяется его массой и нагрузкой на колесо.
2. Расстояние от источника до здания – это кратчайшее расстояние от края проезжей части до точки установки датчика.

3. Грунтовые условия определяются типом грунта и его характеристиками (коэффициентом Пуассона, плотностью, коэффициентом демпфирования, упругим модулем сдвига).

Возможность применения программного комплекса оценивалась на основании тестового эксперимента, описание которого приведено в работе [74].

Первая группа моделей создана на основе данных натурального эксперимента и предназначена для выполнения тестового численного эксперимента. При создании моделей использовались характеристики и параметры факторов, полученные при натурном эксперименте (нагрузка на колесо, расстояние до проезжей части, грунтовые условия, тип фундамента).

Вторая группа моделей создана непосредственно для выполнения численного моделирования и получения математических зависимостей.

Для упрощения математической обработки параметры также приведены к трехфакторной модели с четырьмя уровнями. Уровни изменения данных факторов представлены в таблице 3.7. Выходящим параметром является значение виброускорения [36].

Таблица 3.7 – Значения факторов для второй группы моделей

Фактор	Характеристика фактора	Код фактора	Шаг варьирования	Уровни			
				1	2	3	4
Транспортное средство	Нагрузка на ось, кН	x_1	36,5 кН	10	46,5	83	119,5
Расстояние	Расстояние от источника, м	x_2	9 м	9,5	18,5	27,5	36,5
Грунтовые условия	Тип грунта			Песок	Суглинок	Аргиллит	Глина
Скорость поперечной волны в грунте	V_S , м/с	x_3	10 м/с	120	130	140	150

Таким образом, в обоих случаях получаем эксперимент трехфакторный четырехуровневый.

Относительно типа фундамента было принято две модели – фундамент мелкого заложения и свайный фундамент. Для каждого типа фундамента рассмотрены четыре модели грунта с соответствующими характеристиками. Для каждой такой модели рассматривалось четыре точки приложения вибрационной нагрузки – на расстояниях, указанных в таблице 3.7. В каждой точке прикладывалось четыре источника вибрации (таблица 3.7). Для каждого эксперимента определялась вертикальная и горизонтальная составляющая. В таблице 3.8 приведена матрица планирования трехфакторного эксперимента на четырех уровнях для одного типа фундамента для одной составляющей виброускорения.

Таблица 3.8 – Матрица планирования эксперимента

№ опыта	x1	x2	x3	y
1	1	1	1	y1
2	1	1	2	y2
3	1	1	3	y3
4	1	1	4	y4
5	1	2	1	y5
6	1	2	2	y6
7	1	2	3	y7
8	1	2	4	y8
9	1	3	1	y9
10	1	3	2	y10
11	1	3	3	y11
12	1	3	4	y12
13	1	4	1	y13
14	1	4	2	y14
15	1	4	3	y15
16	1	4	4	y16
17	2	1	1	y17

Продолжение таблицы 3.8

№ опыта	x1	x2	x3	y
18	2	1	2	y18
19	2	1	3	y19
20	2	1	4	y20
21	2	2	1	y21
22	2	2	2	y22
23	2	2	3	y23
24	2	2	4	y24
25	2	3	1	y25
26	2	3	2	y26
27	2	3	3	y27
28	2	3	4	y28
29	2	4	1	y29
30	2	4	2	y30
31	2	4	3	y31
32	2	4	4	y32
33	3	1	1	y33
34	3	1	2	y34
35	3	1	3	y35
36	3	1	4	y36
37	3	2	1	y37
38	3	2	2	y38
39	3	2	3	y39
40	3	2	4	y40
41	3	3	1	y41
42	3	3	2	y42
43	3	3	3	y43
44	3	3	4	y44
45	3	4	1	y45
46	3	4	2	y46
47	3	4	3	y47
48	3	4	4	y48

№ опыта	x1	x2	x3	y
49	4	1	1	y49
50	4	1	2	y50
51	4	1	3	y51
52	4	1	4	y52
53	4	2	1	y53
54	4	2	2	y54
55	4	2	3	y55
56	4	2	4	y56
57	4	3	1	y57
58	4	3	2	y58
59	4	3	3	y59
60	4	3	4	y60
61	4	4	1	y61
62	4	4	2	y62
63	4	4	3	y63
64	4	4	4	y64

Как было сказано в п. 1-3 настоящей главы, для проведения численного моделирования были разработаны две модели – для свайного фундамента и фундамента мелкого заложения (пример модели – рисунок 3.9).

Грунтовые условия модели задавались с помощью ввода характеристик рассматриваемого грунта основания площадки – удельного веса, коэффициента Пуассона, коэффициента демпфирования, упругого модуля сдвига. При расчете использовалась упругопластическая модель грунта, так как она проста в применении и хорошо изучена, другие модели более сложны в применении и требуют определения дополнительных характеристик грунтов.

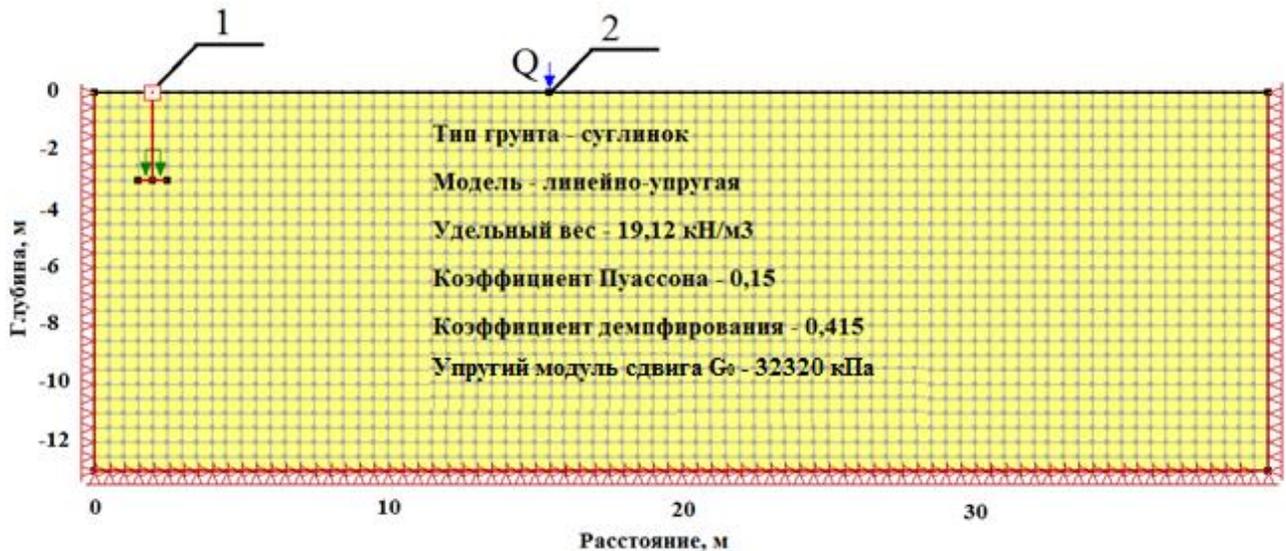


Рисунок 3.9 – Модель для фундамента мелкого заложения

- 1 – расположение датчика на конструкции фундамента,
2 – точка приложения нагрузки

При задании граничных условий ограничивалось перемещение фундамента в горизонтальной плоскости при допустимом перемещении в вертикальной плоскости. Рассматриваемый фундамент представлен в виде стойки, опирающейся на горизонтальный элемент (подошву фундамента). Воздействие на фундамент здания учитывалось распределенной по подошве фундамента нагрузкой на 1 м². При этом фундамент задавался модулем упругости материала фундамента, площадью поперечного сечения и моментом инерции.

Воздействие транспорта задавалось как направленная вертикально вибрационная нагрузка импульсного типа от прохода ближайшего к зданию одиночного или спаренного колеса, приложенная на рассматриваемом расстоянии от здания. При этом задавалось время контакта колеса с покрытием и динамическая нагрузка на колесо.

Точка, для которой проводились замеры, находится на пересечении вертикальной плоскости фундамента и горизонтальной плоскости грунта. На рисунке 3.9 приведен пример для участка с суглинками.

Для каждого из типов грунтов задавались четыре точки приложения вибрационной нагрузки – в зависимости от рассматриваемого расстояния, например, точка 2 на рисунке 3.9. Расстояния приведены в таблице 3.7. В каждой из указанных точек прикладывалось четыре вида вибрационной нагрузки (таблица 3.7).

В результате вычислений были получены зависимости ускорений по осям X и Y от времени. Примеры зависимостей приведены на рисунке 3.10-3.11. Также были получены массивы численных данных, приведенные в разделе 3.6 работы (таблицы 3.9-3.12).

Результатом вычисления в программном комплексе GeoStudio Quake/W является ускорение, выраженное в долях от ускорения свободного падения, поэтому для дальнейших расчетов и анализа полученные значения были приведены к метрическому значению в м/с^2 .

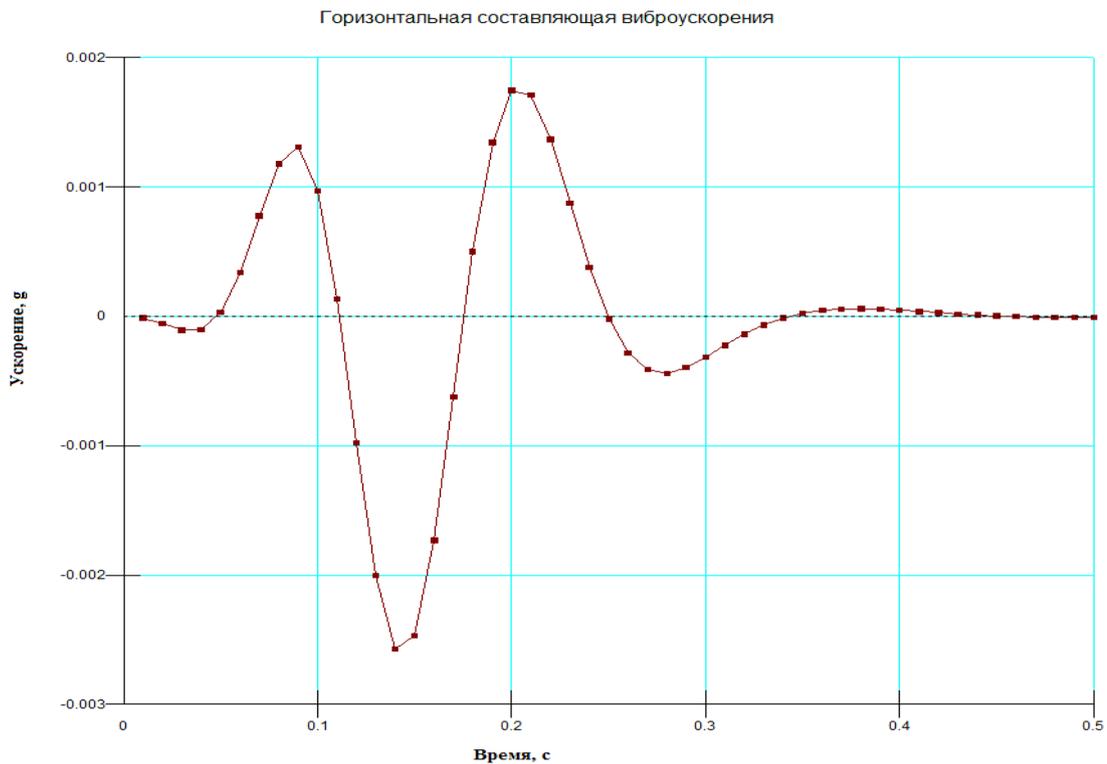


Рисунок 3.10 – Пример зависимости ускорения по оси X от времени

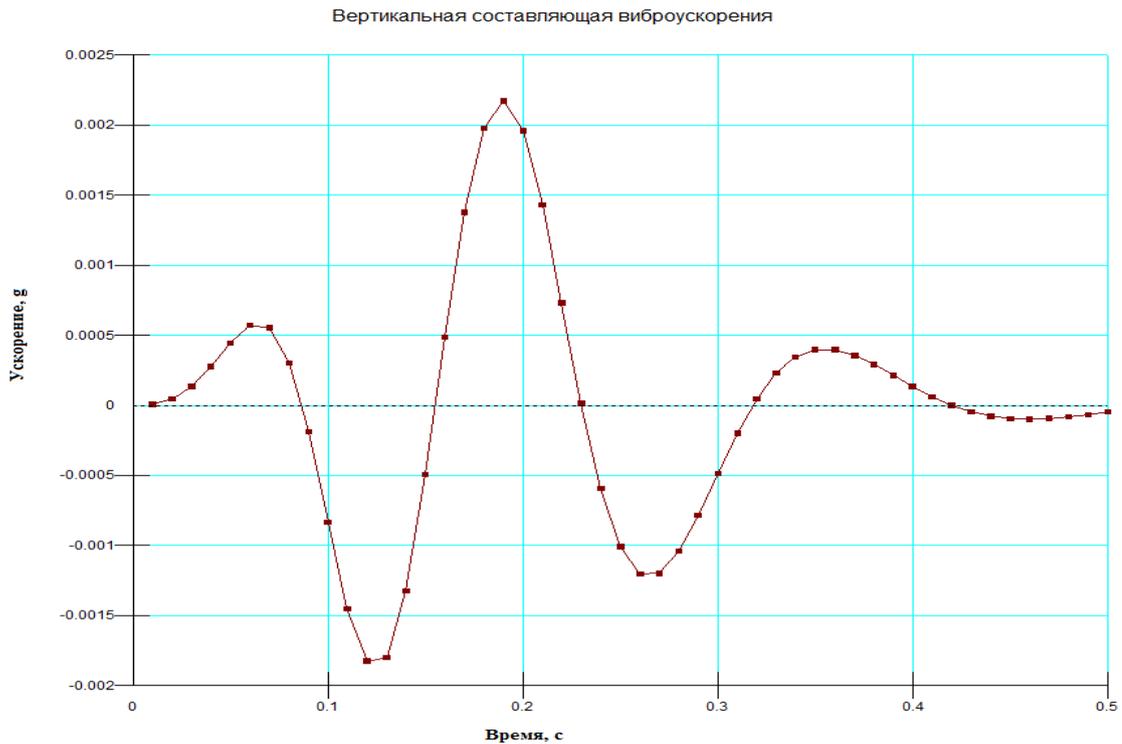


Рисунок 3.11 – Пример зависимости ускорения по оси Y от времени

3.6. Результаты численного моделирования

На основе выполненного численного моделирования для каждого типа фундамента были получены зависимости виброускорения от рассматриваемых факторов (Приложение Б). При этом для каждого типа фундамента моделировались тип грунтовых условий, расстояние от источника до здания, масса транспортного средства.

При анализе полученных данных определялись максимальные по модулю значения виброускорения для каждого измерения. Результаты полученных значений приведены в таблицах 3.9-3.12.

Таблица 3.9 – Результаты численного моделирования для фундамента мелкого заложения, горизонтальная составляющая виброускорения (X)

Нагрузка на ось, кН	Тип грунта	Виброускорение, m/s^2 , при расстоянии до источника, м			
		9,5	18,5	27,5	36,5
10	аргиллит	0,00966	0,000778	0,000146	0,0000551
46,5	аргиллит	0,076045	0,011429	0,002372	0,0015
83	аргиллит	0,08313	0,012267	0,003125	0,001831
119,5	аргиллит	0,168899	0,02552	0,005288	0,0033
10	глина	0,025557	0,002969	0,000844	0,000354
46,5	глина	0,185852	0,031712	0,011885	0,009778
83	глина	0,207036	0,038932	0,015516	0,015859
119,5	глина	0,405096	0,0675	0,025585	0,020616
10	песок	0,007539	0,000612	0,000129	0,0000569
46,5	песок	0,060737	0,008353	0,002327	0,001577
83	песок	0,064436	0,009927	0,003042	0,002566
119,5	песок	0,123888	0,017906	0,005189	0,003457
10	суглинок	0,015089	0,001448	0,000365	0,000165
46,5	суглинок	0,120158	0,019076	0,006233	0,004671
83	суглинок	0,059507	0,011361	0,004814	0,00461
119,5	суглинок	0,126209	0,025473	0,008778	0,006881

Таблица 3.10 - Результаты численного моделирования для фундамента мелкого заложения, вертикальная составляющая виброускорения (Y)

Нагрузка на ось, кН	Тип грунта	Виброускорение, m/s^2 , при расстоянии до источника, м			
		9,5	18,5	27,5	36,5
10	аргиллит	0,006451	0,000832	0,000103	0,0000437
46,5	аргиллит	0,078668	0,012371	0,003287	0,001175
83	аргиллит	0,071553	0,016467	0,003898	0,001875
119,5	аргиллит	0,168422	0,027365	0,007199	0,002554
10	глина	0,015056	0,003493	0,001345	0,00058
46,5	глина	0,128537	0,055494	0,021238	0,01709

Нагрузка на ось, кН	Тип грунта	Виброускорение, m/s^2 , при расстоянии до источника, м			
		9,5	18,5	27,5	36,5
83	глина	0,133265	0,074971	0,029261	0,027688
119,5	глина	0,273612	0,123027	0,045593	0,036787
10	песок	0,004499	0,002971	0,00013	0,000629
46,5	песок	0,049159	0,010663	0,002898	0,001786
83	песок	0,046222	0,014035	0,003627	0,002889
119,5	песок	0,107915	0,023312	0,006402	0,003945
10	суглинок	0,008777	0,001639	0,000413	0,000236
46,5	суглинок	0,088608	0,025811	0,009583	0,007012
83	суглинок	0,0438	0,023547	0,008712	0,006419
119,5	суглинок	0,119942	0,043093	0,016003	0,009917

Таблица 3.11 - Результаты численного моделирования для свайного фундамента, горизонтальная составляющая виброускорения (X)

Нагрузка на ось, кН	Тип грунта	Виброускорение, m/s^2 , при расстоянии до источника, м			
		9,5	18,5	27,5	36,5
10	аргиллит	0,00546	0,000537	0,000117	0,000572
46,5	аргиллит	0,053603	0,007832	0,002003	0,001552
83	аргиллит	0,083151	0,012257	0,003122	0,002426
119,5	аргиллит	0,118875	0,017484	0,004258	0,029472
10	глина	0,015863	0,002141	0,00071	0,000373
46,5	глина	0,131702	0,02503	0,009973	0,01018
83	глина	0,207045	0,038917	0,015505	0,015836
119,5	глина	0,295718	0,050997	0,021859	0,021509
10	песок	0,004213	0,00043	0,000941	0,0000589
46,5	песок	0,041691	0,006366	0,001951	0,064444
83	песок	0,027952	0,009922	0,002988	0,002561
119,5	песок	0,08775	0,013325	0,004234	0,00355
10	суглинок	0,008835	0,001052	0,000303	0,000172

Нагрузка на ось, кН	Тип грунта	Виброускорение, m/s^2 , при расстоянии до источника, м			
		9,5	18,5	27,5	36,5
46,5	суглинок	0,085072	0,014658	0,005122	0,004955
83	суглинок	0,0595	0,01135	0,004807	0,004598
119,5	суглинок	0,173966	0,03153	0,011439	0,01074

Таблица 3.12 – Результаты численного моделирования для свайного фундамента,
вертикальная составляющая виброускорения (Y)

Нагрузка на ось, кН	Тип грунта	Виброускорение, m/s^2 , при расстоянии до источника, м			
		9,5	18,5	27,5	36,5
10	аргиллит	0,00348	0,000681	0,0000813	0,0000417
46,5	аргиллит	0,045479	0,010624	0,002498	0,001167
83	аргиллит	0,070861	0,01661	0,003898	0,00182
119,5	аргиллит	0,097282	0,023575	0,005456	0,002514
10	глина	0,007453	0,002768	0,001169	0,000599
46,5	глина	0,083708	0,048258	0,018403	0,017425
83	глина	0,129988	0,075199	0,028767	0,027155
119,5	глина	0,174871	0,104236	0,040356	0,036847
10	песок	0,002321	0,000395	0,000103	0,000062
46,5	песок	0,029135	0,009034	0,002275	0,001805
83	песок	0,045537	0,014105	0,003533	0,002817
119,5	песок	0,062745	0,019854	0,005062	0,003942
10	суглинок	0,004439	0,001238	0,000292	0,000238
46,5	суглинок	0,054326	0,022024	0,00812	0,007154
83	суглинок	0,042998	0,023698	0,00853	0,006244
119,5	суглинок	0,118915	0,04832	0,017447	0,015677

В Приложении В приведены матрицы результатов расчетов для вертикальных и горизонтальных составляющих виброускорения для каждого типа фундамента. Измеряемым параметром является значение виброускорения.

Данные матрицы получены на основании результатов численного моделирования, которые приведены в таблицах 3.9-3.12.

На основании полученных при численном моделировании данных построены графики зависимостей, приведенные в Приложении Г. Анализ полученных результатов и графиков показал, что для фундаментов мелкого заложения величина вертикальной составляющей колебаний превышает величину горизонтальной. Кроме того, для фундаментов мелкого заложения вертикальная составляющая практически не зависит от расстояния до источника. В случае свайных фундаментов большие значения имеет горизонтальная составляющая и обе составляющих практически не зависят от расстояния от источника до здания. Также выявлено, что при любых грунтовых условиях и расстояниях для фундаментов обоих типов наблюдается прямая зависимость величины виброускорения от массы транспортного средства.

На основании анализа графиков зависимостей, полученных при натурном эксперименте (Глава 2) и в результате численного моделирования (Приложение Г), был сделан вывод о нелинейности этих зависимостей. Поэтому для описания процессов необходимо применять полное квадратичное уравнение регрессии для трехфакторного эксперимента:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{22} \cdot x_2^2 + b_{33} \cdot x_3^2 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (3.13)$$

где b_0 – свободный член,

b_i - коэффициенты для линейных членов уравнения,

b_{ij} - коэффициенты парных взаимодействий.

Свободный член определяется по формуле

$$b_0 = \frac{\sum_1^N Y_u}{N} \quad (3.14)$$

где N – число точек плана,

Y_i - экспериментальное значение выходного параметра в u -ой точке,

Коэффициенты для линейных членов уравнения определяют по формуле

$$b_i = \frac{\sum_1^N x_{iu} \cdot Y_u}{N} \quad (3.15)$$

где x_{iu} – значение i -го фактора в строке матрицы в u -ом опыте

Коэффициенты парных взаимодействий определяются по формуле

$$b_{ij} = \frac{\sum_1^N x_{iu} \cdot x_{ju} Y_u}{N} \quad (3.16)$$

где x_{iu} – значение i -го фактора в u -ом опыте.

В Приложении Д приведены результаты расчета параметров исследуемых функций.

Известно, что величина виброускорения обратно пропорциональна расстоянию до источника, что необходимо учесть при составлении уравнений зависимости. Таким образом, общие уравнения функций будут иметь следующий вид:

- фундамент мелкого заложения, вертикальная составляющая виброускорения –

$$Y_{\Gamma C}^{\Phi M3} = (0,034328 + 0,108522 \cdot q + 0,045397 \cdot \frac{1}{r} + 0,103403 \cdot V_s + 0,371181 \cdot q^2 + 0,077767 \cdot \frac{1}{r^2} + 0,354072 \cdot V_s^2 + 0,143894 \cdot \frac{q}{r} + 0,328625 \cdot q \cdot V_s + 0,137852 \cdot \frac{V_s}{r}) \cdot 10^{-6} \quad (3.17)$$

- фундамент мелкого заложения, горизонтальная составляющая виброускорения –

$$Y_{BC}^{\Phi M3} = (0,032561 + 0,101663 \cdot q + 0,048918 \cdot \frac{1}{r} + 0,095476 \cdot V_s + 0,353297 \cdot q^2 + 0,100315 \cdot \frac{1}{r^2} + 0,328796 \cdot V_s^2 + 0,161133 \cdot \frac{q}{r} + 0,31359 \cdot q \cdot V_s + 0,155288 \cdot \frac{V_s}{r}) \cdot 10^{-6} \quad (3.18)$$

- свайный фундамент, вертикальная составляющая виброускорения –

$$Y_{\Gamma C}^{C\Phi} = (0,029782 + 0,094784 \cdot q + 0,044468 \cdot \frac{1}{r} + 0,087634 \cdot V_s + 0,324539 \cdot q^2 + 0,092803 \cdot \frac{1}{r^2} + 0,294973 \cdot V_s^2 + 0,139418 \cdot \frac{q}{r} + 0,280963 \cdot q \cdot V_s + 0,126527 \cdot \frac{V_s}{r}) \cdot 10^{-6} \quad (3.19)$$

- свайный фундамент, горизонтальная составляющая виброускорения –

$$Y_{BC}^{C\Phi} = (0,026026 + 0,08378 \cdot q + 0,043043 \cdot \frac{1}{r} + 0,078266 \cdot V_s + 0,28782 \cdot q^2 + 0,093406 \cdot \frac{1}{r^2} + 0,266424 \cdot V_s^2 + 0,138769 \cdot \frac{q}{r} + 0,251609 \cdot q \cdot V_s + 0,132748 \cdot \frac{V_s}{r}) \cdot 10^{-6} \quad (3.20)$$

где q – нагрузка на ось, кН,

r – расстояние до источника, м,

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

На рисунках 3.9-3.11 показаны частные зависимости виброускорения для различных типов фундаментов от нагрузки на ось, расстояния до источника и скорости поперечной волны в грунте.

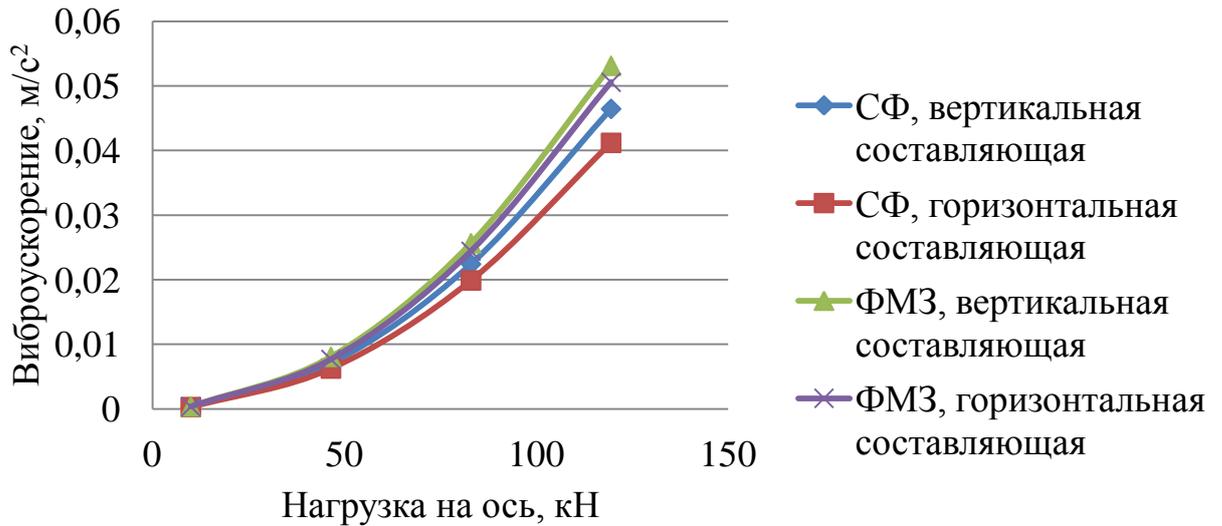


Рисунок 3.9 – Частная зависимость виброускорения от нагрузки на ось

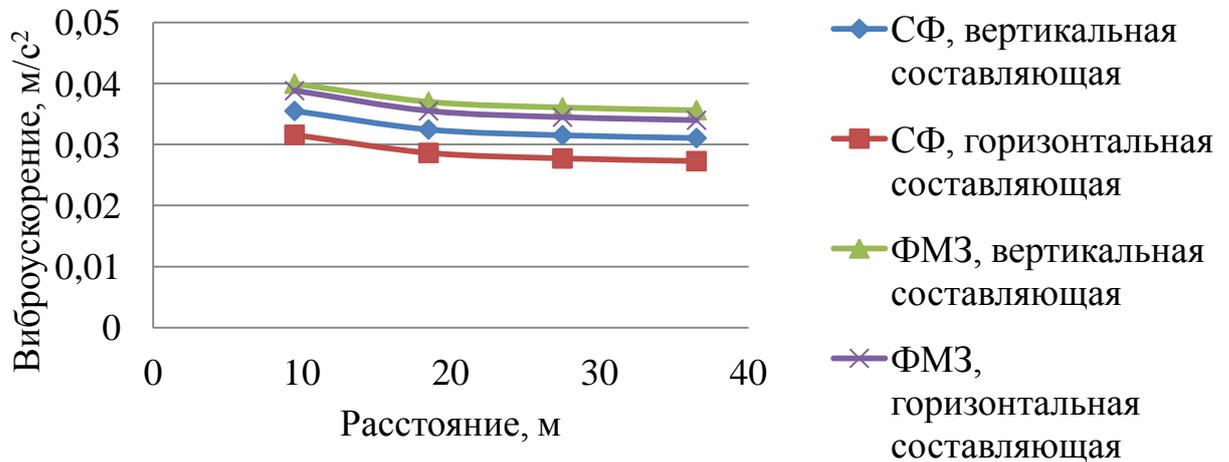


Рисунок 3.10 – Частная зависимость виброускорения от расстояния до источника

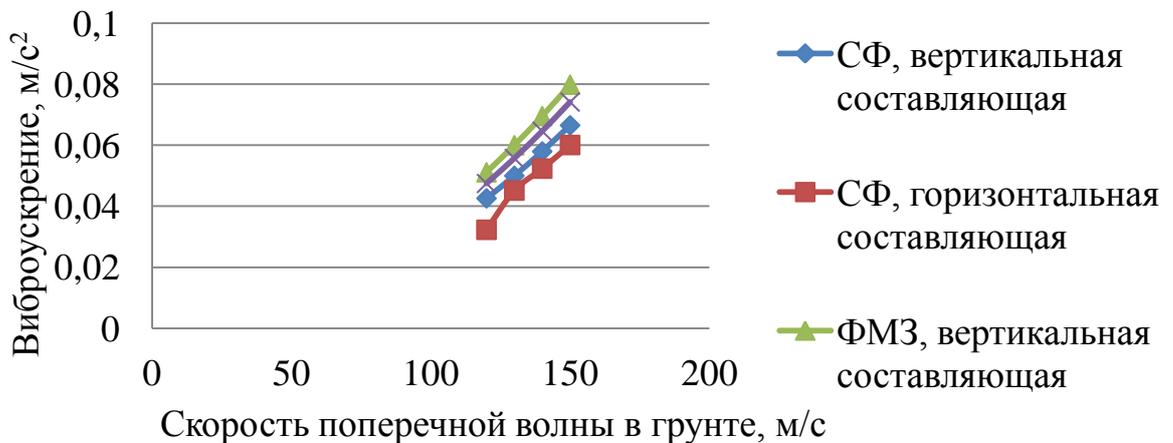


Рисунок 3.11 – Частная зависимость виброускорения от скорости поперечной волны в грунте

Уравнение частной зависимости виброускорения от нагрузки на ось имеет вид:

$$y = 3 \cdot 10^{-6} \cdot q^2 + 9 \cdot 10^{-7} \cdot q + 3 \cdot 10^{-7} \quad (3.21)$$

где q – нагрузка на ось, кН.

Уравнение частной зависимости виброускорения от расстояния до источника имеет вид:

$$y = -4 \cdot 10^{-7} \cdot r^3 + 3 \cdot 10^{-5} \cdot r - 0,001 \cdot r + 0,0428 \quad (3.22)$$

где r – расстояние до источника, м.

Уравнение частной зависимости виброускорения от скорости поперечной волны в грунте имеет вид:

$$y = 3 \cdot 10^{-6} \cdot V_s^2 + 9 \cdot 10^{-7} \cdot V_s + 3 \cdot 10^{-7} \quad (3.23)$$

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

Т.к. величина достоверности аппроксимации $R^2 \geq 1$ во всех случаях, то это говорит о соответствии определенных функции и исходных данных.

Результаты численного моделирования приведены в работе [76].

3.7. Выводы по главе

На основании выполненного численного эксперимента и полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Получены общие эмпирические зависимости вертикальной и горизонтальной составляющей виброускорения для свайного фундамента и фундамента мелкого заложения с учетом грунтовых условий площадки, массы транспортных средств и расстояния до источника вибрации.

2. Установлены частные зависимости виброускорений от наиболее значимых факторов, которые позволяют учесть их при проектировании противовибрационных мероприятий.

3. Для обоих типов фундамента величина горизонтальной составляющей колебаний превышает величину вертикальной.

4. Выявлено, что величина виброускорения обратно пропорциональна расстоянию до источника.

5. При любых грунтовых условиях и расстояниях при обоих типах фундаментов наблюдается прямая зависимость полученных значений виброускорений от нагрузки на ось.

ГЛАВА 4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СНИЖЕНИЮ ВИБРАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ АВТОТРАНСПОРТА НА ЖИЛУЮ ЗАСТРОЙКУ

Как отмечалось в главе 1, основной задачей выполненных исследований является выявление основных факторов, создающих вибрационное поле города и предложение методов, позволяющих снизить воздействие вибрации от автотранспорта на территории жилой застройки.

В таблице 4.1 приведены допустимые значения виброускорения для жилых зданий согласно [59].

Таблица 4.1 – Допустимые значения вибрации в жилых помещениях, палатах больниц, санаториев

Среднегеометрические частоты полос, Гц	Предельно допустимые значения по осям X_o, Y_o, Z_o			
	виброускорения		виброскорости	
	$\text{м/с}^2 \cdot 10^{-3}$	дБ	$\text{м/с} \cdot 10^{-4}$	дБ
2	4,0	72	3,2	76
4	4,5	73	1,8	71
8	5,6	75	1,1	67
16	11,0	81	1,1	67
31,5	22,0	87	1,1	67
63	45,0	93	1,1	67
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни	4,0	72	1,1	67

В дневное время в помещениях допустимо превышение нормативных уровней на 5 дБ. Для непостоянной вибрации к допустимым значениям уровней, приведенным в таблице 9 [59], вводится поправка - 10 дБ, а абсолютные значения

умножаются на 0,32. В палатах больниц и санаториев допустимые уровни вибраций нужно снижать на 3 дБ.

Значения виброускорения, полученные при натурном и численном моделировании, нередко превышают допустимые и ощущаются находящимися в здании людьми. Кроме этого, за время эксплуатации здания могут накапливаться и суммироваться указанные в Главе 1 негативные последствия, что может привести к нарушению работы конструкций фундаментов и оснований. Поэтому, по нашему мнению, необходимо предусмотреть методы, позволяющие снизить уровень вибрации.

4.1. Анализ результатов натурного и численного эксперимента

В предыдущих главах автором были выполнены натурные и численные экспериментальные исследования, которые позволили получить определенные результаты по величинам виброускорений для различных транспортных средств, типов грунтовых условий, типов фундаментов жилых зданий и расстояния от источника вибрации. Для оценки предлагаемой методики снижения вибрации рассмотрим сравнение этих результатов, которые приведены в таблицах 4.2 и 4.3.

Таблица 4.2– Сравнение результатов, полученных при численном и натурном экспериментах (вертикальная составляющая)

Тип фунда-мента	Тип грунта	Рассто-яние до источ-ника, м	Тип экспери-мента	Виброускорение, m/s^2 , при нагрузке на ось, кН			
				10	25	100	120
ФМЗ	песок	9,5	НЭ	0,00958	0,016329	0,029981	0,02964
ФМЗ	песок	9,5	ЧЭ	0,019383	0,025017	0,027566	0,048848
ФМЗ	суглинок	12,9	НЭ	0,018718	0,007998	0,030877	0,02964
ФМЗ	суглинок	12,9	ЧЭ	0,014902	0,014697	0,024451	0,037114
ФМЗ	песок	12,9	НЭ	0,013359	0,010038	0,026136	0,023663
ФМЗ	песок	12,9	ЧЭ	0,012769	0,00951	0,025259	0,030764
ФМЗ	суглинок	15,1	НЭ	0,017481	0,025689	0,030156	

Тип фунда-мента	Тип грунта	Рассто-яние до источ-ника, м	Тип экспери-мента	Виброускорение, m/s^2 , при нагрузке на ось, кН			
				10	25	100	120
ФМЗ	суглинок	15,1	ЧЭ	0,007927	0,006205	0,023223	0,026135
СФ	глина	12,7	НЭ	0,009442	0,016174		
СФ	глина	12,7	ЧЭ	0,026165	0,021449	0,032295	0,037676
СФ	суглинок	13,9	НЭ	0,006144	0,010611	0,034072	0,028129
СФ	суглинок	13,9	ЧЭ	0,01692	0,021449	0,032173	0,037536
СФ	аргиллит	14,8	НЭ	0,027441	0,012328	0,030186	0,03596
СФ	аргиллит	14,8	ЧЭ	0,016853	0,016233	0,032164	0,037521
СФ	суглинок	15,4	НЭ	0,010037	0,019083		0,028838
СФ	суглинок	15,4	ЧЭ	0,014846	0,014803	0,024524	0,028792
СФ	глина	15,9	НЭ	0,020777	0,009853		0,02964
СФ	глина	15,9	ЧЭ	0,012754	0,014786	0,024402	0,028611
СФ	аргиллит	16,3	НЭ	0,007828	0,015763	0,026514	0,026926
СФ	аргиллит	16,3	ЧЭ	0,008567	0,013492	0,02435	0,02847
СФ	глина	35,9	НЭ	0,013427	0,024831		
СФ	глина	35,9	ЧЭ	0,007808	0,01243	0,024181	0,028409
СФ	суглинок	36,5	НЭ	0,017961	0,010816	0,030463	0,031427
СФ	суглинок	36,5	ЧЭ	0,006301	0,011627	0,022205	0,025907

СФ – свайный фундамент, ФМЗ – фундамент мелкого заложения,

НЭ – натурный эксперимент, ЧЭ – численный эксперимент

Таблица 4.3 – Сравнение результатов, полученных при численном и натурном экспериментах (горизонтальная составляющая)

Тип фунда-мента	Тип грунта	Рассто-яние до источ-ника, м	Тип экспери-мента	Виброускорение, m/s^2 , при нагрузке на ось, кН			
				10	25	100	120
ФМЗ	песок	9,5	НЭ	0,007656	0,008343	0,032096	0,031357
ФМЗ	песок	9,5	ЧЭ	0,012672	0,025919	0,037212	0,039414

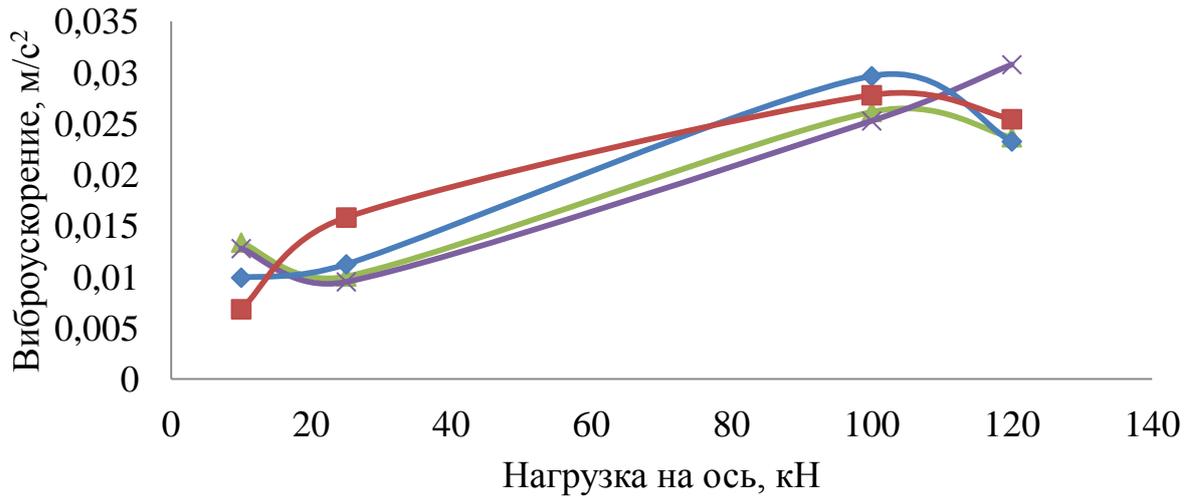
Окончание таблицы 4.3

Тип фунда-мента	Тип грунта	Рассто-яние до источ-ника, м	Тип экспери-мента	Виброускорение, m/s^2 , при нагрузке на ось, кН			
				10	25	100	120
ФМЗ	суглинок	12,9	НЭ	0,007382	0,020777	0,029022	0,02964
ФМЗ	суглинок	12,9	ЧЭ	0,008404	0,018421	0,029026	0,024347
ФМЗ	песок	12,9	НЭ	0,009923	0,011229	0,02964	0,023251
ФМЗ	песок	12,9	ЧЭ	0,006833	0,01581	0,027777	0,025431
СФ	суглинок	13,9	НЭ	0,007312	0,009443	0,02964	0,030052
СФ	суглинок	13,9	ЧЭ	0,008511	0,013083	0,026143	0,028946
СФ	аргиллит	14,8	НЭ	0,006008	0,012466	0,029091	0,029778
СФ	аргиллит	14,8	ЧЭ	0,00836	0,012746	0,025322	0,025484
СФ	суглинок	15,4	НЭ	0,008504	0,005664		0,023228
СФ	суглинок	15,4	ЧЭ	0,007619	0,011036	0,023787	0,024211
СФ	глина	15,9	НЭ	0,008412	0,016655		0,030258
СФ	глина	15,9	ЧЭ	0,007015	0,008115	0,016569	0,023877
СФ	аргиллит	16,3	НЭ	0,008102	0,007759	0,032594	0,029468
СФ	аргиллит	16,3	ЧЭ	0,006373	0,007899	0,016246	0,023415
СФ	глина	35,9	НЭ	0,013977	0,010702		
СФ	глина	35,9	ЧЭ	0,006088	0,007697	0,01624	0,019335
СФ	суглинок	36,5	НЭ	0,008343	0,007382	0,02964	0,030327
СФ	суглинок	36,5	ЧЭ	0,006054	0,00766	0,011884	0,019006

СФ – свайный фундамент, ФМЗ – фундамент мелкого заложения,

НЭ – натурный эксперимент, ЧЭ – численный эксперимент

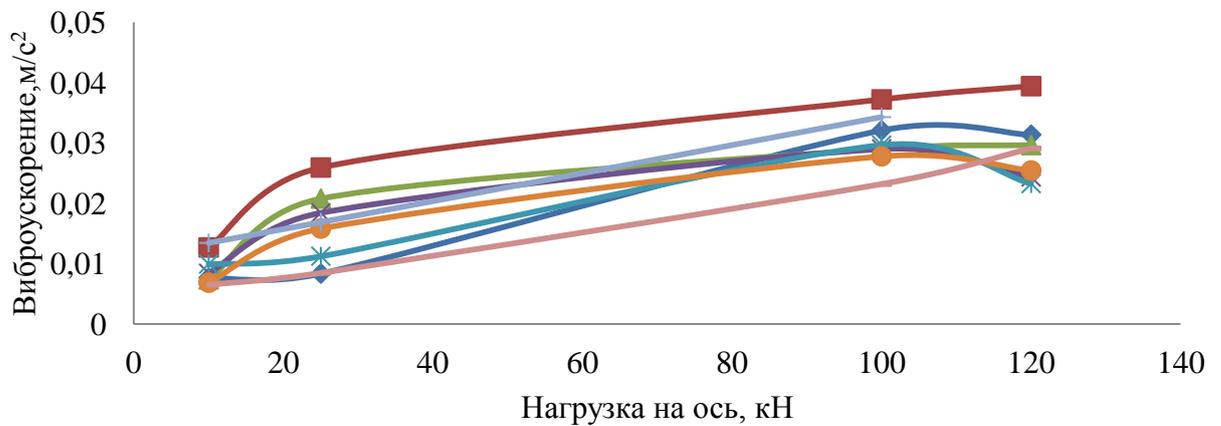
На рисунках 4.1-4.6 приведены примеры графиков сравнения результатов численного моделирования и натурального эксперимента.



▲ ФМЗ, ГС, песок, 12,9 м, НЭ ✕ ФМЗ, ГС, песок, 12,9 м, ЧЭ
 ◆ ФМЗ, ВС, песок, 12,9 м, НЭ ■ ФМЗ, ВС, песок, 12,9 м, ЧЭ

Рисунок 4.1 - Сравнение результатов натурального эксперимента и численного моделирования. График зависимости виброускорения от нагрузки на ось для фундамента мелкого заложения при основании из песка

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



◆ ФМЗ, песок, 9,5 м, НЭ ■ ФМЗ, песок, 9,5 м, ЧЭ
 ▲ ФМЗ, суглинок, 12,9 м, НЭ ✕ ФМЗ, суглинок, 12,9 м, ЧЭ
 ✕ ФМЗ, песок, 12,9 м, НЭ ● ФМЗ, песок, 12,9 м, ЧЭ
 ◆ ФМЗ, суглинок, 15,1 м, НЭ ◆ ФМЗ, суглинок, 15,1 м, ЧЭ

Рисунок 4.2 – Сравнение результатов натурального эксперимента и численного моделирования. График зависимости горизонтальной составляющей виброускорения фундамента мелкого заложения от нагрузки на ось
 НЭ – натуральный эксперимент, ЧЭ – численное моделирование

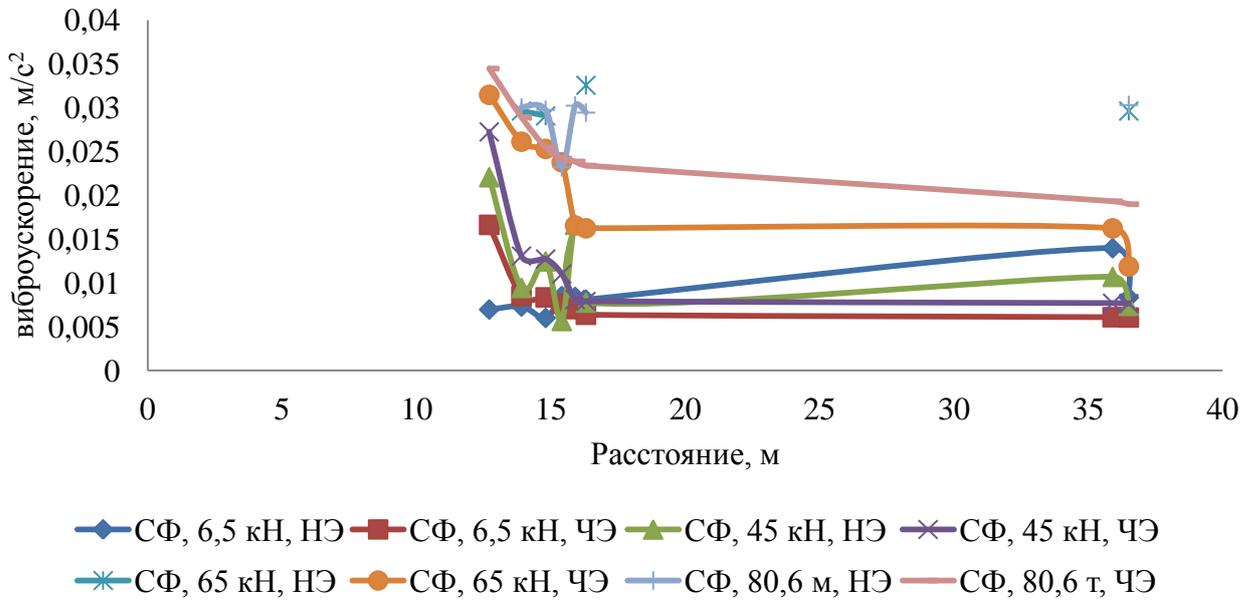


Рисунок 4.3 – Сравнение результатов натурального эксперимента и численного моделирования. График зависимости горизонтальной составляющей виброускорения свайного фундамента от расстояния
 НЭ – натуральный эксперимент, ЧЭ – численное моделирование

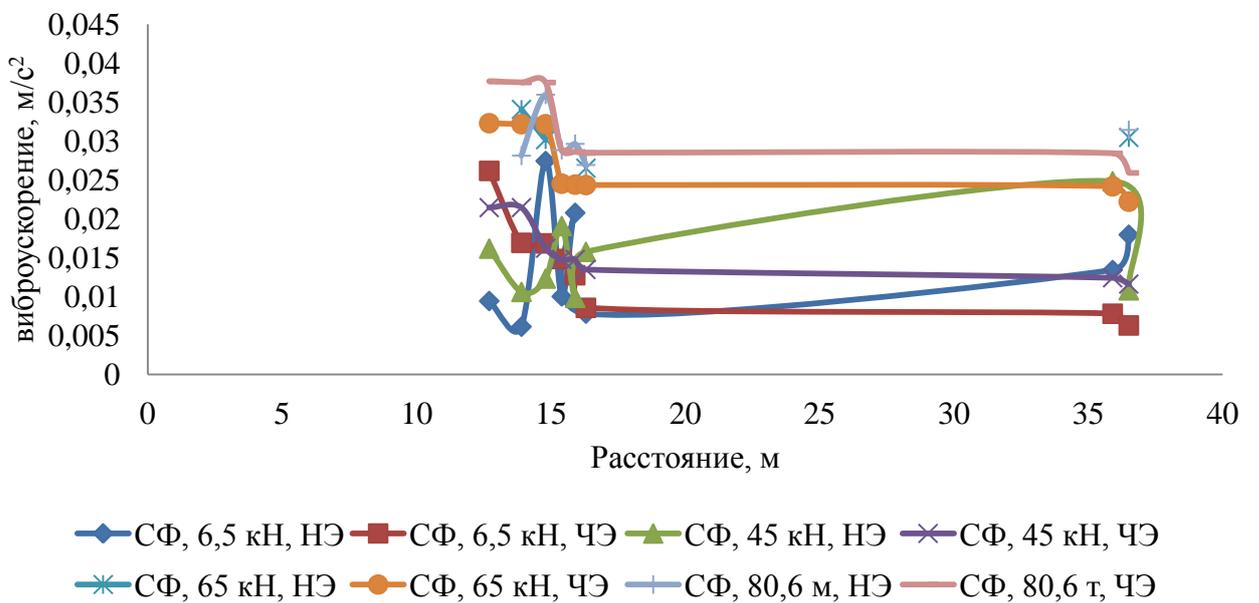


Рисунок 4.4 – Сравнение результатов натурального эксперимента и численного моделирования. График зависимости вертикальной составляющей виброускорения свайного фундамента от расстояния
 НЭ – натуральный эксперимент, ЧЭ – численное моделирование

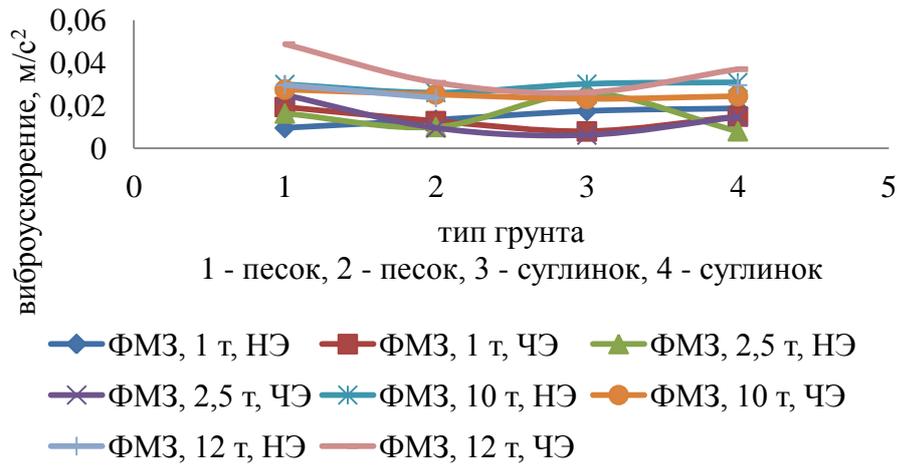


Рисунок 4.5 – Сравнение результатов натурального эксперимента и численного моделирования. График зависимости вертикальной составляющей виброускорения от типа грунта для фундамента мелкого заложения
НЭ – натуральный эксперимент, ЧЭ – численное моделирование

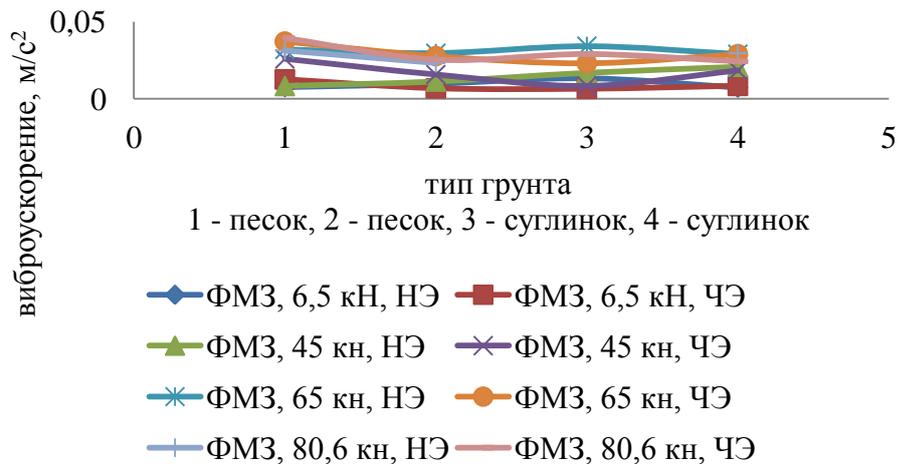


Рисунок 4.6 – Сравнение результатов натурального эксперимента и численного моделирования. График зависимости вертикальной составляющей виброускорения от типа грунта для фундамента мелкого заложения
НЭ – натуральный эксперимент, ЧЭ – численное моделирование

Анализ полученных результатов показал, что зависимости, полученные при натурном эксперименте и численном моделировании, имеют одинаковый характер. При этом разница между результатами натуральных и численных экспериментов не превышает 30 %, что говорит о достаточной сходимости

результатов. Следовательно, можно сделать вывод о возможности применения методики численного моделирования при определении величины виброускорения.

Однако следует учитывать, что при проведении исследований не учитывался ряд факторов: напластование слоев грунтов, наличие подземных коммуникаций и т.д., поэтому результаты численных экспериментов отличаются от полученных при натурном эксперименте.

4.2. Методика определения виброускорения колебаний

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.

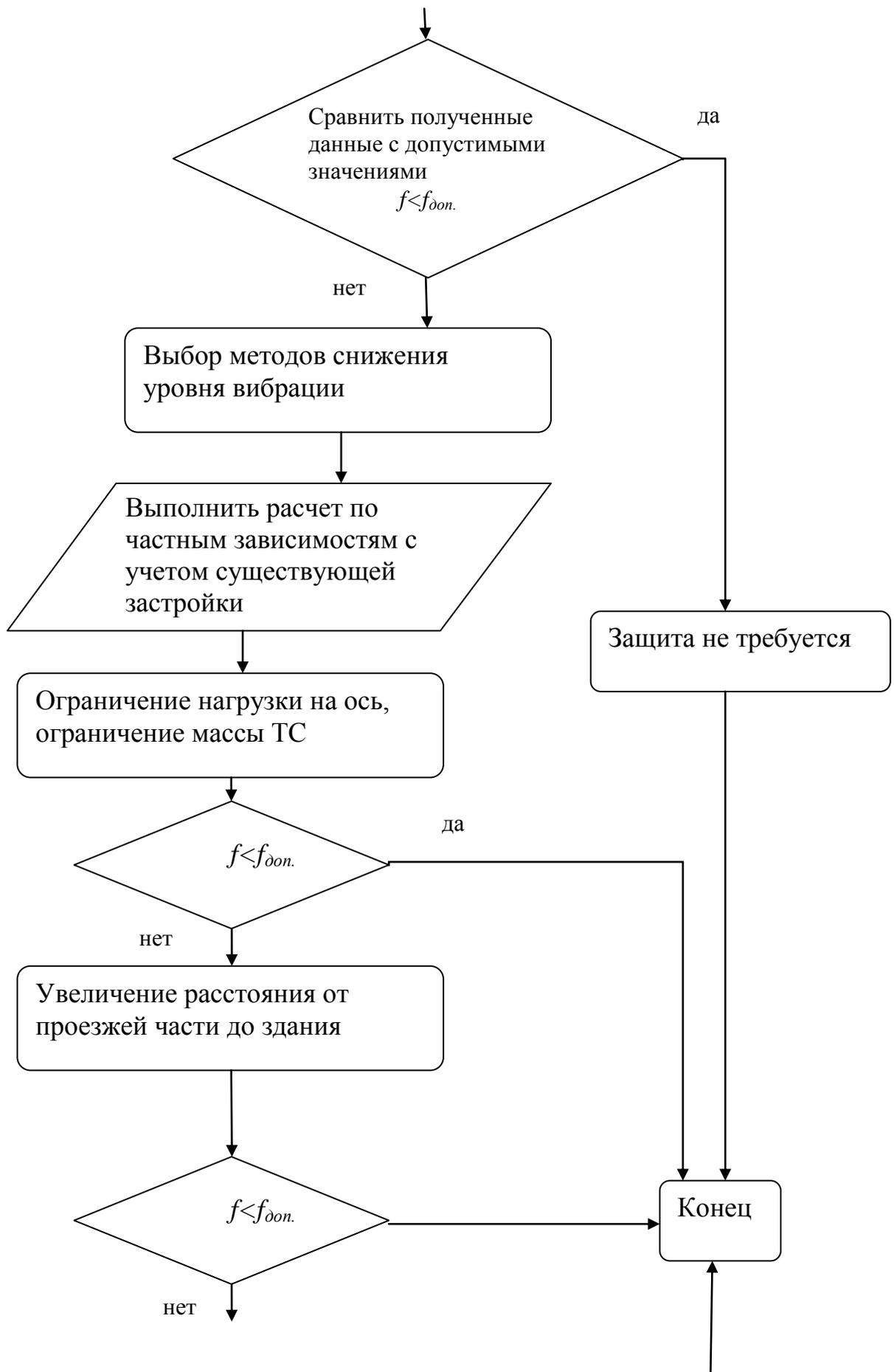
Первый случай. При защите существующего здания от воздействия транспорта, движущегося по существующей улице, предлагается следующая методика выполнения проектных работ:

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.
7. При превышении допустимых значений рассматриваются методы снижения уровня вибрации. Описание возможных методов приведено в разделе 4.4.
8. Проводится расчет по частным зависимостям виброускорения с учетом существующей застройки.
9. Корректируются выбранные методы защиты.

На рисунке 4.7 приведена блок-схема алгоритма.





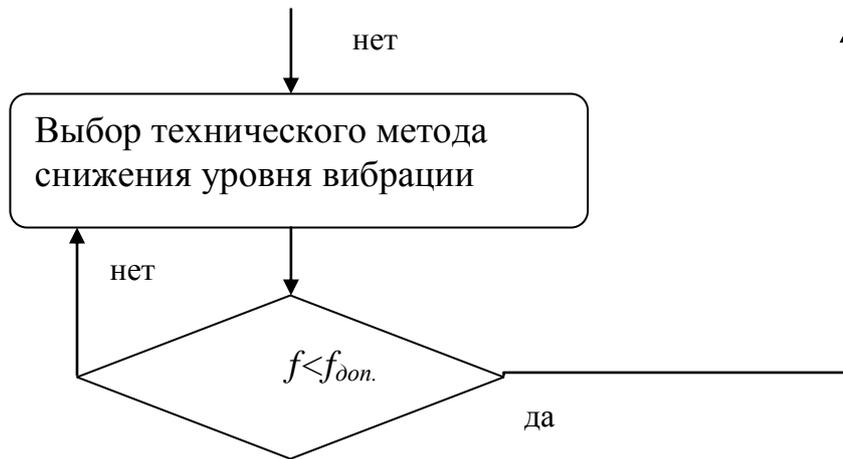
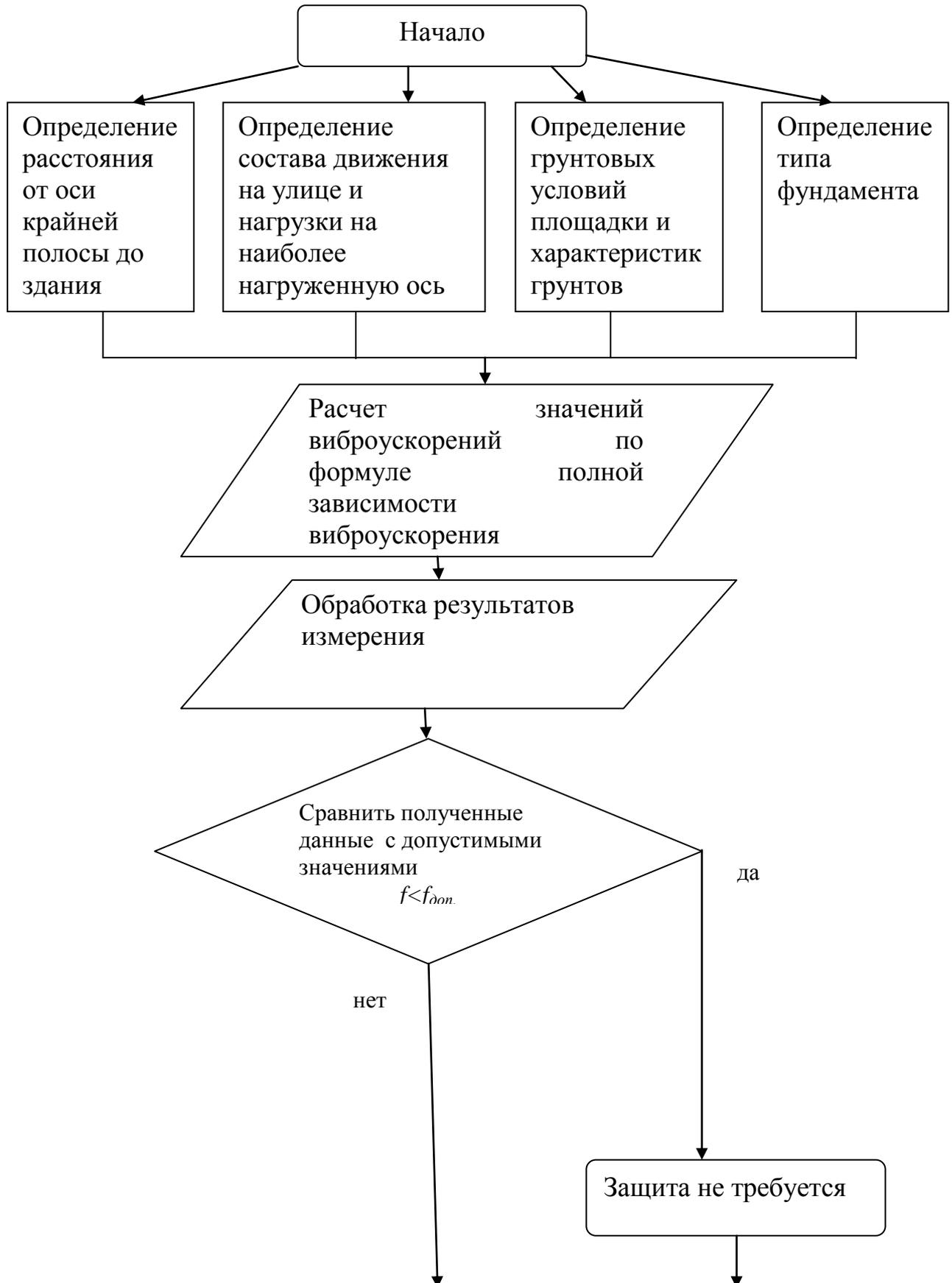


Рисунок 4.7 – Блок-схема алгоритма при защите существующих объектов

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.
6. При превышении допустимых значений рассматриваются методы снижения уровня вибрации. Описание возможных методов приведено в разделе 4.4.
7. Проводится расчет по частным зависимостям виброускорения с учетом выбранного метода.
8. Корректируются выбранные методы защиты.

На рисунке 4.8 приведена блок-схема алгоритма.



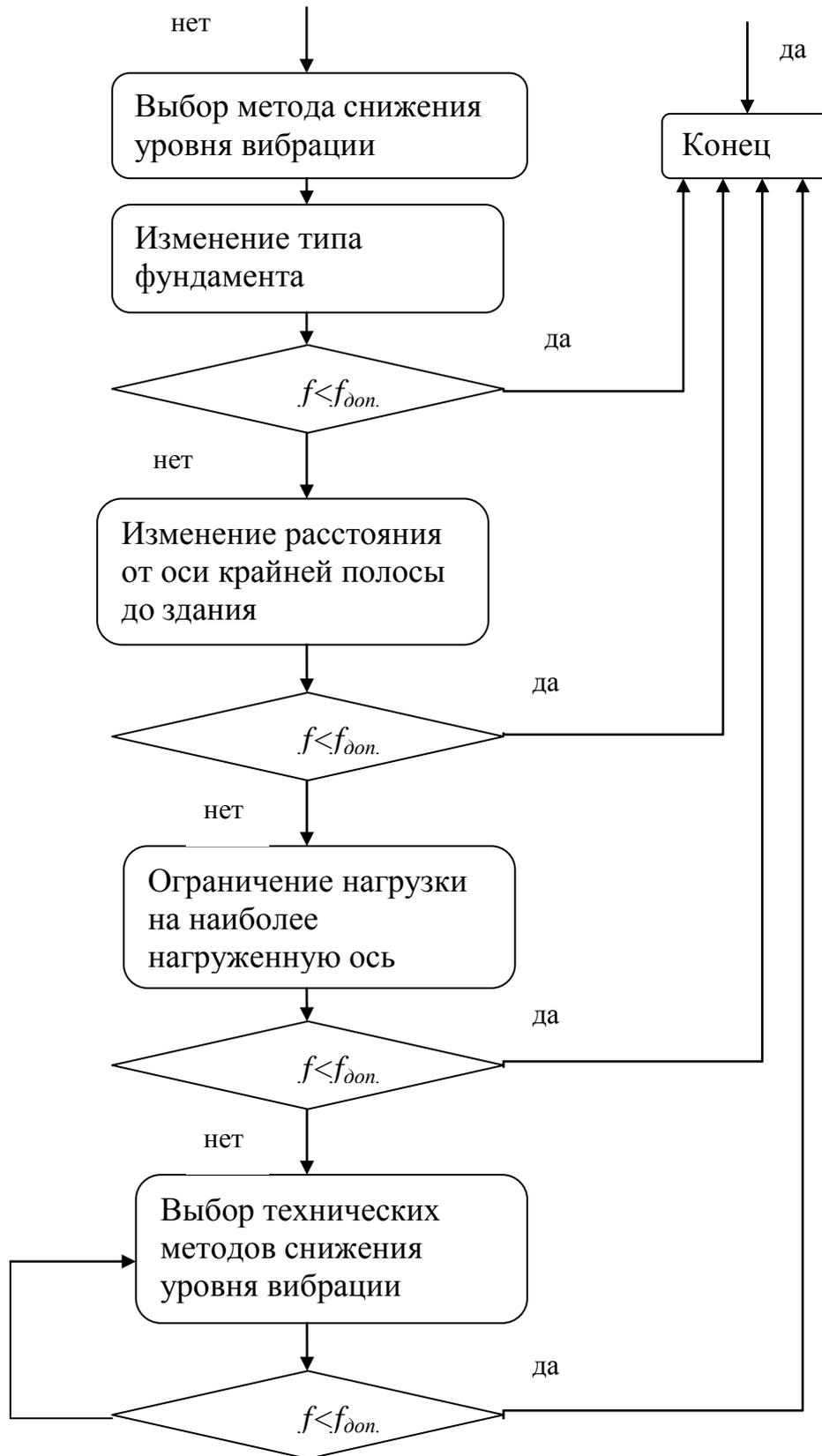


Рисунок 4.8 – Блок-схема алгоритма при защите проектируемых объектов

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 для предварительной оценки вибрационного воздействия от автотранспорта предлагается ограничение величины виброускорения (таблица 4.4) с учетом технической категории состояния здания. При проведении натурного эксперимента было выявлено, что максимальные значения виброускорения наблюдались при частоте колебаний около 4 Гц, поэтому при определении виброускорения учитывалась данная частота.

Таблица 4.4 – Допустимые значения виброускорения и виброскорости

Категория	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	

4.3. Методы снижения уровня вибрации

При проектировании объектов решение вопросов, связанных с вибрационным воздействием, позволяет применить широкий спектр методов – планировочных, конструктивных, дополнительных. Однако методы, связанные с конструктивными и планировочными решениями, ограничены в использовании, так как их невозможно применить к существующей застройке.

Как показали результаты исследования, значения виброускорения свайного фундамента меньше, чем для фундамента мелкого заложения. Поэтому изменение конструкции фундамента может являться одним из конструктивных методов

снижения вибрационного воздействия. При проектировании зданий увеличение расстояния от здания до проезжей части также позволит снизить величину виброускорения. Изменение состава транспортного потока и максимальной допустимой нагрузки на наиболее загруженную ось также может оказать влияние на величину виброускорения.

Анализ патентов показал, что в качестве дополнительных мероприятий по защите застройки от вибрации наибольшее распространение в настоящее время получили экраны, выполненные в виде траншей, заполненных гасящим материалом (описание предлагаемых решений приведено в главе 1).

Однако предыдущие исследования выявили ряд проблем, связанных с применением траншей с засыпкой [1]. В связи с тем, что глубина траншеи является функцией частоты вибраций, такие экраны могут применяться при достаточно высоких частотах возмущения, когда распространяющиеся в грунте упругие волны имеют относительно небольшую длину. Поэтому наиболее эффективно экранирование волн, возбуждаемых, например, движением поездов метрополитена неглубокого заложения, имеющих достаточно высокочастотный спектр (30-50 Гц). Что же касается вибраций, вызванных работой виброактивного оборудования, то в этом случае такие экраны малоэффективны, т.к. в данном случае действуют низкочастотные вибрации, распространяющиеся со слабым затуханием на большие расстояния. Форма экрана приобретает особую значимость, если проходящий транспорт вызывает сильные колебания грунта. Перед траншеей часть энергии волны отражается, что может привести к увеличению уровня вибрации.

Несмотря на выявленные недостатки, применение экранов наиболее предпочтительно при необходимости защиты зданий. В каждом конкретном случае решение о применении того или иного вида экрана принимается индивидуально на основании расчетов.

Проектирование экранирующих стен в грунте может производиться на основании ВСН 211-91 «Прогнозирование уровней вибрации грунта от движения метropоездов и расчет виброзащитных строительных устройств» [19].

Согласно данному нормативному документу экранирующие стены располагаются между тоннелем и защищаемым зданием и представляют собой конструкции, устраиваемые в грунтовых траншеях или иными способами, динамические свойства которых должны значительно отличаться от свойств грунтового массива.

Расчет эффективности экранирующей стены в виде грунтовой траншеи, заполненной виброизолирующим материалом, а также пустотной щели, проводится в соответствии с методикой, изложенной в Приложении 3 ВСН [19]. Основные конструктивные требования к виброзащитным экранам даны в Приложении 4 ВСН [19].

Ниже приведен пример расчета и подбора метода защиты от вибрации для условной площадки с учетом предложенной методики.

Пример расчета

Для примера рассмотрим условную площадку, на которой планируется строительство здания на фундаменте мелкого заложения. Состояние вновь построенного здания можно отнести к I-й категории состояния. Пусть основанием рассматриваемой площадки является суглинок. Расстояние от рассматриваемого здания до края проезжей части 9 м.

Рассмотрим наиболее неблагоприятные условия движения – когда по всем полосам направления движения одновременно проходит транспорт с максимальной нагрузкой на колесо, т.е. грузовой транспорт. Примем 3 полосы движения в каждом направлении. На рисунке 4.9 показана расчетная схема.

В результате численного моделирования были получены следующие максимальные значения виброускорения: вертикальная составляющая – $0,2244 \text{ м/с}^2$, горизонтальная – $0,1617 \text{ м/с}^2$. Следовательно, значения не превышают допустимые, но близки к ним.

Так как здание – проектируемое, необходимо воспользоваться блок-схемой, приведенной на рисунке 4.8.

Первый этап – изменение типа фундамента. При расчете после изменения типа фундамента, то есть применения свайного фундамента, были получены

следующие максимальные значения виброускорения: вертикальная составляющая – $0,1441 \text{ м/с}^2$, горизонтальная – $0,1039 \text{ м/с}^2$. Следовательно, значения уменьшились и вибрационное воздействие на здание снизилось.

Таким образом, можно сделать вывод, что в рассматриваемом случае применение дополнительных мероприятий по защите от вибрации не требуется, достаточно изменить тип фундамента.

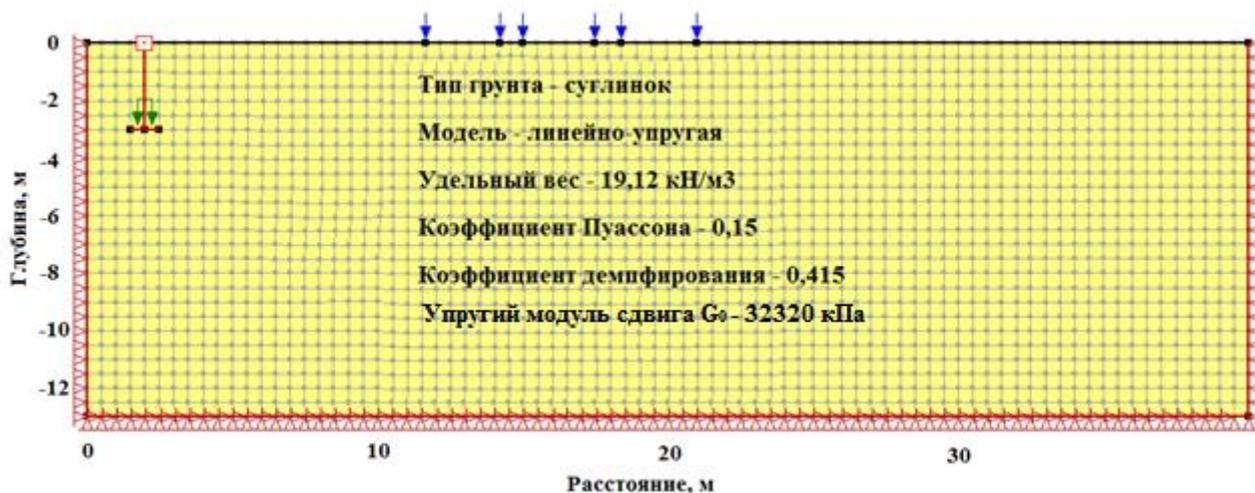


Рисунок 4.9 – Расчетная схема условной площадки

4.4 Выводы по главе

1. Выполнено сравнение результатов, полученных при натурном и численном экспериментах, которое показало расхождение в 30 %, что говорит о возможности применения предложенной модели численного моделирования.

2. Предложена методика проектирования вибрационного воздействия автотранспорта для существующих и проектируемых зданий.

3. Экспериментально доказано, что для снижения вибрационного воздействия при проектировании зданий рекомендуется устройство свайных фундаментов. Дополнительными мероприятиями могут являться ограничение массы транспортного средства, проезд которого разрешен на рассматриваемом участке улицы, и увеличение расстояния до магистрали до здания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе выполненных натурных экспериментальных исследований и численного моделирования можно выделить следующее:

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.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы: в дальнейших исследованиях помимо факторов, рассмотренных в данной работе, следует учесть другие факторы, влияющие на величину виброускорения. Например, рассмотреть не только грунт основания, а полный инженерно-геологический разрез площадки. Учесть включение в грунтовый массив инженерных коммуникаций. Исследовать воздействие движущегося потока транспорта, а не проезд одиночного автомобиля. В результате проведения дальнейших исследований возможна разработка технического регламента, позволяющего определить величину вибрационного воздействия транспорта и разработать мероприятия по защите от такого воздействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамова, Т. Т. Снижение вибрационных воздействий на грунтовые массивы с помощью волногасящих барьеров [Текст] / Т. Т. Абрамова // Геотехника. – 2016. – № 4. – С. 36-49.

2. Алимов, С. Г. Оценка влияния транспортной вибрации на конструкции зданий памятников архитектуры. На примере г. Владивостока [Текст] : автореф. дис. ... к-та техн. наук : 05.23.17 / Алимов Сергей Григорьевич. – Владивосток, 2006. – 24 с.

3. Антипов, В. В. Современные неразрушающие методы изучения инженерно-геологического разреза [Текст] / В. В. Антипов, В. Г. Офрихтер // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2016. – Т. 7, № 2. – С. 37-49.

4. Антипов, В. В. Исследование верхней части разреза грунтовой толщи экспресс-методами волнового анализа [Текст] / В. В. Антипов, В. Г. Офрихтер, О. А. Шутова // Вестник Московского государственного строительного университета. – 2016. – № 12. – С. 44-60.

5. Антипов, В. В. Численное моделирование динамического воздействия от одиночного транспортного средства на существующее здание [Текст] / В. В. Антипов, В. Г. Офрихтер, А. Б. Пономарев, О. А. Шутова // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2017. – № 3(41). – С. 131-138.

6. А.с. 343000. Устройство для гашения сейсмических волн / А. А. Вовк, Г. И. Черный и др. - № 1345357/29-14; заявл. 30.05.1969; опубл. 22.06.1972; Бюл. № 20. – 2 с.

7. А.с. 601355. Экран для защиты сооружений от воздействия колебаний грунта / Н. Н. Боргояркова, Ю. Г. Чернышев. – № 2375469/29-33; заявл. 03.06.1976; опубл. 05.04.197; Бюл. № 13. – 2 с.

8. А.с. 815141. Экран для защиты фундаментов зданий, сооружений от воздействия колебаний / Н. Н. Латева, Ю. Г. Чернышев. – № 2759928/29-33; заявл. 03.05.1979; опубл. 30.03.1981; Бюл. № 12. – 2 с.

9. А.с. 817150. Экран для защиты фундаментов зданий, сооружений от воздействия колебаний / Н. Н. Лаптева, Ю. Г. Чернышев. – № 2779294/24-33; заявл. 18.06.1979; опубл. 30.03.1981; Бюл. № 12. – 2 с.

10. А.с. 817151. Устройство для гашения сейсмических колебаний / Н. Н. Лаптева, Ю. Г. Чернышев. – № 2779294/29-33; заявл. 18.06.1979; опубл. 30.03.1981; Бюл. № 12. – 2 с.

11. А.с. 1423694. Экран для защиты сооружения от сейсмических воздействий / А. В. Минасян. – № 4113484/29-33; заявл. 02.09.1986; опубл. 15.09.1988; Бюл. № 34. – 2 с.

12. А.с. 1776720. Устройство для защиты объекта от сейсмического воздействия / З. И. Беродзе, Я. Л. Кранцфельд и др. – № 4931324/33; заявл. 26.04.1991; опубл. 23.11.1992; Бюл. № 43. – 2 с.

13. А.с. 2006553. Экран для защиты зданий, сооружений от сейсмических воздействий / Е. С. Пронин, А. В. Русинов. - № 4858145/33, заявл. 29.06.1990; опубл. 30.01.1994, Бюл. № 2. – 2 с.

14. Баркан, Д. Д. Расчет и проектирование фундаментов под машины с динамическими нагрузками [Текст] / Д. Д. Баркан. – Москва ; Ленинград : Госстройиздат, 1938. – 284 с.

15. Баркан, Д. Д. Виброметод в строительстве [Текст] / Д. Д. Баркан. – Москва: Госстройиздат, 1959. – 315с.

16. Берлинов, М. В. Основы комплексной оценки динамической работы строительных конструкций при вибрационных воздействиях промышленного оборудования [Текст] : автореф. дис.... д-ра техн. наук : 05.23.01 / Берлинов Михаил Васильевич. – Москва, 2005. – 43 с.

17. Васенин, В. А. Анализ процесса развития длительных осадок застройки Санкт-Петербурга по результатам мониторинговых наблюдений [Текст] / В. А. Васенин// Труды международной конференции по геотехнике «Взаимодействие

оснований и сооружений. Подземные сооружения и подпорные стены». – Санкт-Петербург, 2014. – С. 8-27.

18. Вознесенский, Е. А. Динамическая неустойчивость грунтов [Текст] / Е. А. Вознесенский. – М.: Эдиториал УРСС, 1999. – 264 с.

19. ВСН 211-91. Прогнозирование уровней вибрации грунта от движения метропоездов и расчет виброзащитных строительных устройств [Текст]. – Москва : Министерство транспортного строительства СССР, 1991. – 38 с.

20. Габибов, Ф. Г. Геомеханика. Геотехника [Текст] / Ф. Г. Габибов. – Саарбрюккен: Издательство LAP LAMBERT Academic Publhing, 2016. – 356 с.

21. Герсеванов, Н. М. Основы динамики грунтовой массы [Текст] / Н. М. Герсеванов. – Москва ; Ленинград : Госстройиздат, 1933. – 196 с.

221. Голованов, Р. О. Особенности динамических явлений в строительных конструкциях зданий и сооружений (методика и результаты натурных исследований) [Текст] : автореф. дис. ... к-та техн. наук : 05.23.17 / Голованов Роман Олегович. – Москва, 2004. – 28 с.

23. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация [Текст]. – Москва : Стандартиформ, 2013. – 44 с.

24. ГОСТ Р ИСО 14837-1-2007. Вибрация. Шум и вибрация, создаваемые движением рельсового транспорта. Часть 1. Общее руководство [Текст]. – Москва : Стандартиформ, 2008. – 39 с.

25. ГОСТ Р 52748-2007. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения и габариты приближения [Текст]. – Москва : Стандартиформ, 2008. – 13 с.

26. ГОСТ Р 52892-2007. Вибрация и удар. Вибрация зданий. Измерение вибрации и оценка ее воздействия на конструкцию [Текст]. – Москва : Стандартиформ, 2008. – 20 с.

27. Ершов, В. А. Сопротивление сдвигу водонасыщенных песков в зависимости от ускорения колебаний [Текст] / В. А. Ершов, Се-Дин-И // Доклады к XX научной конференции ЛИСИ. – Ленинград, 1962. – С. 18-27.

28. Жигалин, А. Д. Формирование вибрационного поля в геологической среде [Текст] / А. Д. Жигалин, Г. П. Локшин // Инженерная геология. – 1991. – № 6. – С. 110-119.

29. Ильичев, В. А. Вопросы расчета оснований и фундаментов на динамические воздействия с учетом волновых явлений в грунте [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.02 / Ильичев Вячеслав Александрович. – Москва, 1975. – 36 с.

30. Ильичев, В. А. к вопросу о расчете уровня вибраций в грунте от воздействия метропоездов в тоннелях мелкого заложения [Текст] / В.А. Ильичев // Труды НИИОСП им. Н. М. Герсеванова. – Москва, 1983. – С. 33-42.

31. Исмагилова, З. Ф. Исследование осадки фундаментов в глинистых грунтах при динамической нагрузке [Текст] : автореф. дис. ... к-та техн. наук : 05.23.02 / Исмагилова Зульфия Фаритовна. – Уфа, 2006. - 20 с.

32. Ковальчук, О. А. Особенности динамических откликов панельных зданий повышенной этажности, подвергающихся воздействию вибрации, вызванных движением поездов метрополитена [Текст] : автореф. дис. ... к-та техн. наук : 05.23.17 / Ковальчук, Олег Александрович. – Москва, 2004. – 20 с.

33. Курбацкий, Е. Н. Оценка параметров колебаний грунтового массива вблизи тоннелей мелкого заложения и наземных железнодорожных трасс [Текст] / Е. Н. Курбацкий, С. А. Курнавин // Тезисы доклада 1-ой международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы развития железнодорожного транспорта». – Москва, 1994.

34. Курбацкий, Е. Н. Критический анализ состояния нормативной документации по расчету сооружений на землетрясения [Текст] / Е. Н. Курбацкий, Г. Э. Мазур, В. Л. Мондрус // Academia. Архитектура и строительство. – 2017. - № 2. – С. 95-102.

35. Локшин, Г. П. Техногенное поле вибрации и его воздействие на геологическую среду городских территорий [Текст]: автореф. дис. ... к-та техн. наук : 04.00.12 / Локшин Григорий Павлович. – Москва, 1987. – 24с.

36. Малышев, В. П. Вероятностно-детерминированное планирование

эксперимента [Текст] / В. П. Малышев. - Алма-Ата: Наука, 1981. – 116 с.

37. Мариничев, М. Б. Эффективные фундаментные конструкции в сложных грунтовых условиях / М. Б. Мариничев, К.Ш. Шадунц, А.Ю. Маршалка [Текст] // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – № 2. – С. 34-36.

38. Мариничев, М. Б. Практическая реализация метода вертикального армирования неоднородного основания для компенсации неравномерной деформируемости грунтового массива и снижения сейсмических воздействий на надземное сооружение / М. Б. Мариничев, И. Г. Ткачев, Ю. Шлее [Электронный ресурс] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. - № 94. – С. 279-299. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/10/pdf/51.pdf> (дата обращения 15.01.2018)

39. Маринченко, Е. В. Оценка состояния элементов зданий и сооружений при тестовых динамических воздействиях [Текст] : автореф. дис. ... к-та техн. наук : 05.23.17 / Маринченко Елена Викторовна. - Ростов-на-Дону, 2006. - 19 с.

40. Моторин, В. В. Разработка, исследование и реализация метода виброзащиты зданий с применением многослойных резинометаллических заменяемых виброизоляторов [Текст] : автореф. дис. ... к-та техн. наук : 05.23.17 / Моторин Владимир Владимирович. – Москва, 2005. – 21 с.

41. Наумов, Б. В. Совершенствование способов борьбы с вибрацией, передаваемой от железнодорожного пути на тоннель метрополитена [Текст] : автореф. дис. ... к-та техн. наук : 05.22.06 / Наумов Борис Владимирович. – Санкт-Петербург, 2005. – 24 с.

42. Нуждин, Л. В. Колебания свайных фундаментов-приемников от кинематического возбуждения [Текст] : автореф. дис. ... к-та техн. наук : 05.23.02 / Нуждин Леонид Викторович. – Новосибирск, 1993. – 22 с.

43. Нуждин, Л. В. Учет взаимодействия ростверка с грунтом при работе свайных фундаментов на динамические воздействия [Текст] / Л. В. Нуждин, А. О. Колесников // Проблемы геотехники в современном строительстве: Тр. II центр.-азиат. геотехн. симпоз. – Самарканд, 2002. – С.109-112.

44. Нуждин, Л. В. Прогнозирование колебаний и оптимизация конструкции свайных фундаментов, эксплуатируемых при динамическом нагружении [Текст] / Л. В. Нуждин, Д. А. Полинкевич // Реконструкция городов и геотехническое строительство. – 2004. – № 8. – С. 113-118.

45. ОДН 218.046-01. Проектирование нежестких дорожных одежд [Текст]. – Москва : Информавтодор, 2001. – 148 с.

46. Отчет о научно-исследовательской работе «Мониторинг частей зданий реконструируемого жилого фонда с ограниченным сроком службы и аппаратное обеспечение для технической диагностики и неразрушающего контроля» (заключительный за 2003 г.) [Текст] / Швецов С. Н. – Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет (ДГТУ), 2003 г. – 12 с.

47. Пат. 2256033 Российская Федерация, МПК⁷ E02D 27/01, E02D 27/44. Фундамент для зданий и сооружений / Л. В. Нуждин, Е. П. Скворцов, В. П. Писаненко, А. А. Кузнецов. – №: 2003124411/03; заявл. 04.08.2003; опубл. 10.07.2005; Бюл. № 19. – 1 с.

48. Пат. 2298614 Российская Федерация, МПК⁷ E02D 27/34. Способ защиты зданий и сооружений от вибраций / А. С. Алешин, В. И. Осипов, С. Д. Филимонов. – № 2006105280/03; заявл. 21.02.2006; опубл. 10.05.2007, Бюл. № 13. – 7 с.

49. Пат. 2365710 Российская Федерация, МПК⁷ E02D 27/34. Устройство для защиты зданий и сооружений от вибрации и способ его возведения / Х. А. Джантимиров, М. Л. Холмянский, А. А. Долев, П. Х. Джантимиров, С. А. Рытов, С. А. Крючков, С. В. Ильин. – № 2008113030/03; заявл. 07.04.2008; опубл. 27.08.2009, Бюл. № 24. – 9 с.

50. Пат. 2475595 Российская Федерация, МПК⁷ E02D 27/34. Барьер для защиты застроенных территорий от поверхностных сейсмических волн / С. В. Кузнецов, О. В. Мкртычев А. Э. Нафасов. – №: 2011131133/03; заявл. 26.07.2011; опубл. 20.02.2013, Бюл. № 5. – 6 с.

51. Пат. 2625133 Российская Федерация, МПК⁷ E02D 31/08. Способ нейтрализации сейсмических колебаний и устройство для его реализации / А.

П. Ефимочкин. – № 2016118653, заявл. 13.05.2016; опубл. 11.07.2017, Бюл. № 20. – 6 с.

52. Покровский, Г. И. Исследования по физике грунтов : элементы физики дисперсных систем применительно к грунтам и почвам [Текст] / Г. И. Покровский. – Москва ; Ленинград : Главная редакция строительной литературы, 1937. - 136 с.

53. П.м. 52415 Российская Федерация, МПК⁷ E02D 27/34. Экран для защиты зданий и сооружений от вибраций / А. П. Бобряков, А. В. Лубягин. – № 2005118573/22; заявл. 15.06.2005; опубл. 27.03.2006; Бюл. № 9. – 2 с.

54. П.м. 117935 Российская Федерация, МПК⁷ E02D 27/01. Ленточный фундамент с переменным очертанием краевых зон / Ф. Г. Габибов, Г. М. Скибин, С. И. Евтушенко, Н. М. Халафов, И. Н. Ткаченко, Р. А. Мамедли. - № 2012103780/03, заявл. 03.02.2012; опубл. 10.07.2012; Бюл. № 19. – 6 с.

55. РСН 66-87. Методические рекомендации по определению состава, состояния и свойств грунтов сейсмоакустическими методами, Инженерные изыскания для строительства. Технические требования к производству геофизических работ. Сейсморазведка [Текст]. – Москва : Госстрой РСФСР, 1987. – 30 с.

56. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 7: Геотехническое проектирование. Руководство для проектировщиков к EN 1997-1. Еврокод 7: Геотехническое проектирование – общие правила / Р. Франк [и др.] [Текст]. – М.: МГСУ, 2013. – 360 с.

57. Савинов, О. А. Фундаменты под машины [Текст] / О. А. Савинов.. – Ленинград ; Москва : Гос. изд-во лит. по строительству и архитектуре, 1955. – 292 с.

58. Скворцов, Е. П. Влияние контурного армирования грунтового основания на снижение колебаний фундаментов с динамическими нагрузками [Текст]: автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.23.02 / Скворцов Егор Петрович. – Томск, 2006. – 22 с.

59. СН 2.2.4/2.1.8.566-96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы [Текст]. – Москва : Информационно-издательский центр, 1997. – 20 с.

60. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* [Текст]. – Москва : Минстрой России, 2016. – 220 с.

61. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85 [Текст]. – Москва : Минрегион России, 2011. – 90 с.

62. СП 26.13330.2012. Фундаменты машин с динамическими нагрузками. Актуализированная редакция СНиП 2.02.05-87 [Текст]. – Москва : Минрегион России, 2011. – 70 с.

63. Ставницер, Л. Р. Остаточные деформации грунтов при уплотнении кратковременными нагрузками [Текст] : автореф. дис. ... к-та техн. наук / Ставницер Леонид Рувимович. – Москва, 1964. – 20 с.

64. Ставницер, Л. Р. Сейсмостойкость оснований и фундаментов [Текст] / Л. Р. Ставницер. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2010. – 740 с.

65. Ставницер, Л. Р. Сейсмостойкость грунтовых оснований атомных станций / Л. Р. Ставницер [Текст] // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2011. – № 6. – С.53-55.

66. Ставницер, Л. Р. Учет сейсмических воздействий на фундаменты резервуаров / Л. Р. Ставницер, А. А. Бубис, Е. А. Сорочан [Текст] // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2016. – №6. – С.49-52.

67. Тер-Мартirosян, А. З. Взаимодействие фундаментов с основанием при циклических и вибрационных воздействиях с учетом реологических свойств грунтов [Текст] : автореферат дис. ... канд. техн. наук : 05.23.02 / Тер-Мартirosян Армен Завенович. – Москва, 2010. – 24 с.

68. Тер-Мартirosян, З. Г. Механика грунтов [Текст] / З. Г. Тер-Мартirosян. – М.: Издательство АСВ, 2005. – 488 с.

69. Титов, Е. Ю. Разработка методов оценки и способов снижения уровней вибраций сооружений вблизи метрополитенов и железнодорожных трасс [Текст] :

автореф. дис. ... к-та техн. наук : 05.23.11 / Титов Евгений Юрьевич. – Москва, 2006. – 24 с.

70. ТСН 23-315-2000 г. Москвы (МГСН 2.04-97). Допустимые уровни шума, вибрации и требования к звукоизоляции в жилых и общественных зданиях [Текст]. – Москва : ГУП «НИАЦ», 1997. – 38 с.

71. Уздин, А. М. Развитие теории сейсмостойкости мостов и других инженерных сооружений с учетом динамического взаимодействия фундамента с основанием [Текст] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.15, 05.23.02 / Уздин Александр Моисеевич. – Санкт-Петербург, 1992. – 51 с.

72. Цытович, Н. А. Механика грунтов [Текст] / Н. А., Цытович. – М.: Высш.шк., 1983. – 288 с.

73. Чернов, Ю. Т. Вибрации строительных конструкций [Текст] / Ю. Т. Чернов. – М.: Издательство АСВ, 2006. – 288 с.

74. Шутова, О. А. Анализ возможности применения программного комплекса GeoStudio Quake/W для моделирования техногенной вибрации [Текст] / О. А. Шутова, А. Б. Пономарев // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2016. – № 3 . – С. 59-64.

75. Шутова, О. А. Применение неразрушающих методов определения механических характеристик грунта при численном моделировании динамических воздействий на существующее здание [Текст] / О. А. Шутова, А. Б. Пономарев, В. В. Антипов, В. Г. Офрихтер // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2017. – № 1 . – С. 74-78.

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

77. Beben, D. Evaluation of the traffic impact on residential building [Electronic resource] / D. Beben, W. Anigacz, P. Bobra // MATEC Web of Conferences. – 2017. Vol. 107. Article № 00063. DOI: 10.1051/matecconf/201710700063

78. DIN 4150-3-2016 Erschütterungen im Bauwesen - Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen [Text]. – Berlin : German Institute for Standardisation (Deutsches Institut für Normung), 2016. – 20 p.

79. Dynamic Modeling with QUAKE/W 2007. An Engineering Methodology [Text]. – GEO-SLOPE International, Ltd., Calgary, Alberta, Canada, 2009. – 237 p.

80. Korzeb, J. Evaluation of the vibration impacts in the transport infrastructure environment [Electronic resource] / J. Korzeb, A. Chudzikiewicz // Archive of Applied Mechanics. – 2015. – Vol. 85. – Pp. 1331-1342. DOI 10.1007/s00419-015-1029-0

81. Kramer, S. L. Geotechnical earthquake engineering [Text] / S. L. Kramer. – Prentice-Hall, Inc, 1996. – 655 p.

82. Park, C. B. Multichannel analysis of surface waves [Text] / C. B. Park, R. D. Miller, J. Xia // Geophysics. – 1999. – Vol. 64, No. 3. – Pp. 800–808.

83. Park, C. B. Combined use of active and passive surface waves [Text] / C. B. Park, R. D. Miller, N. Ryden, J. Xia, J. Ivanov // Journal of Environmental and Engineering Geophysics. – 2005. – Vol. 10. – Issue 3. – Pp. 323-334.

84. Park, C. B. Roadside passive multichannel analysis of surface waves (MASW) [Text] / C.B. Park, R.D. Miller// Journal of Environmental & Engineering Geophysics. – 2008. – Vol. 13, Issue 1. – Pp. 1-11.

85. Persson, P. Effect of structural design on traffic-induced building vibrations [Electronic resource] / P. Persson, L. V. Andersen, K. Persson , P. Bucinskas // Procedia Engineering. – 2017. Vol. 199. – Pp. 2711–2716. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.09.577

86. Stolarik, M., Pinka, M. Seismic impact of the railway on the geotechnical constructions [Electronic resource] / M. Stolarik, M. Pinka // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2017. – Vol. 236. – Article № 012049. DOI: 10.1088/1757-899X/236/1/012049

Приложение А
Поперечные профили улиц на исследуемых участках

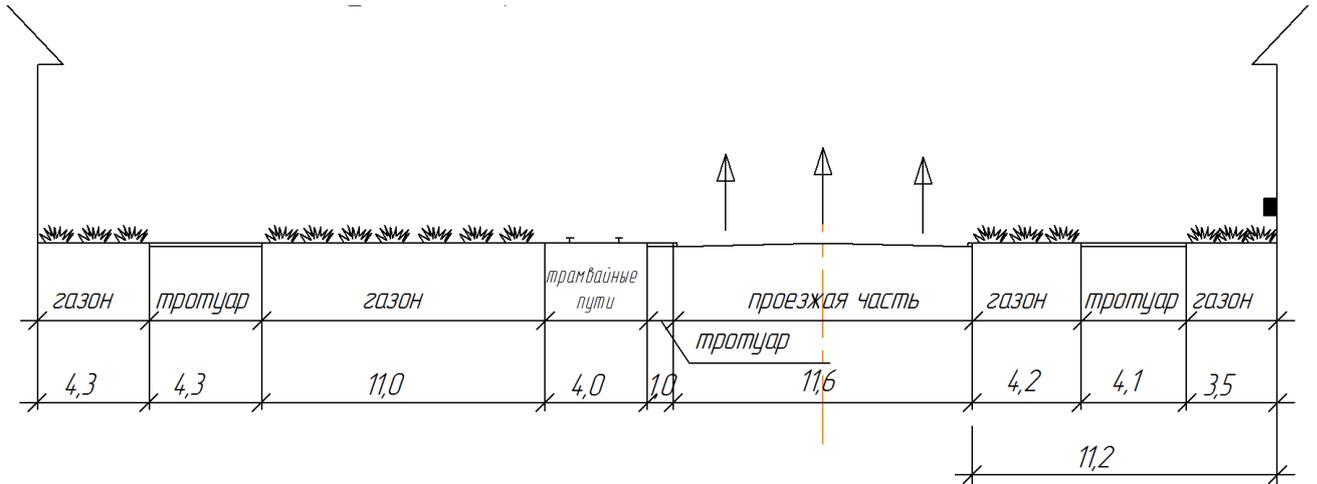


Рисунок А.1 – Поперечный разрез ул. Петропавловской у дома № 78

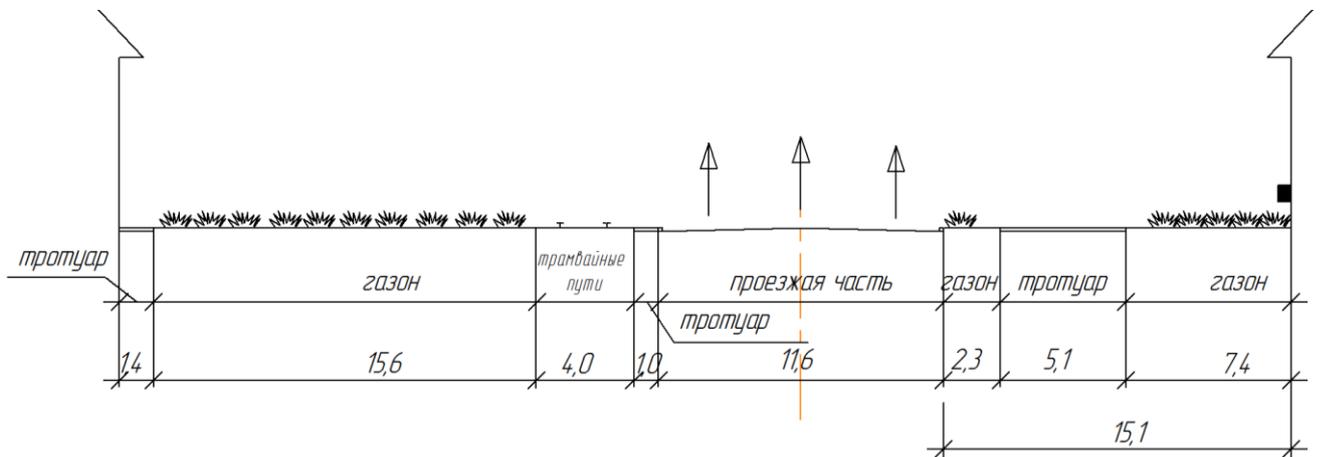


Рисунок А.2 – Поперечный разрез ул. Петропавловской у дома № 72

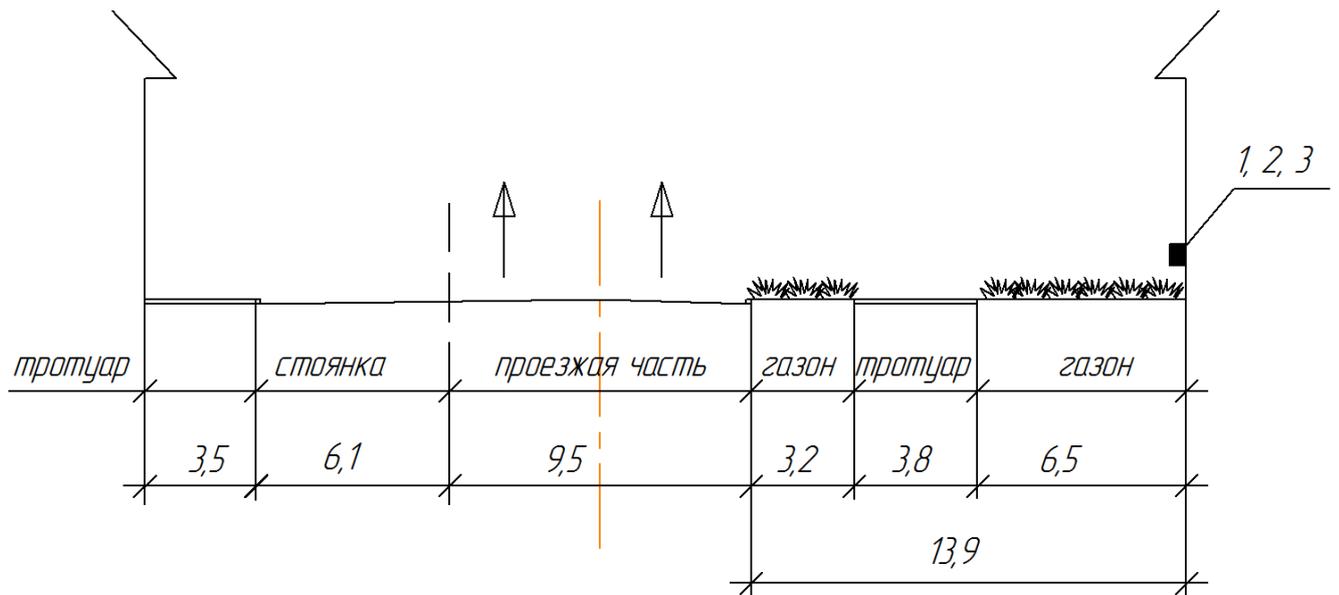


Рисунок А.3 – Поперечный разрез ул. Екатерининской у дома № 196

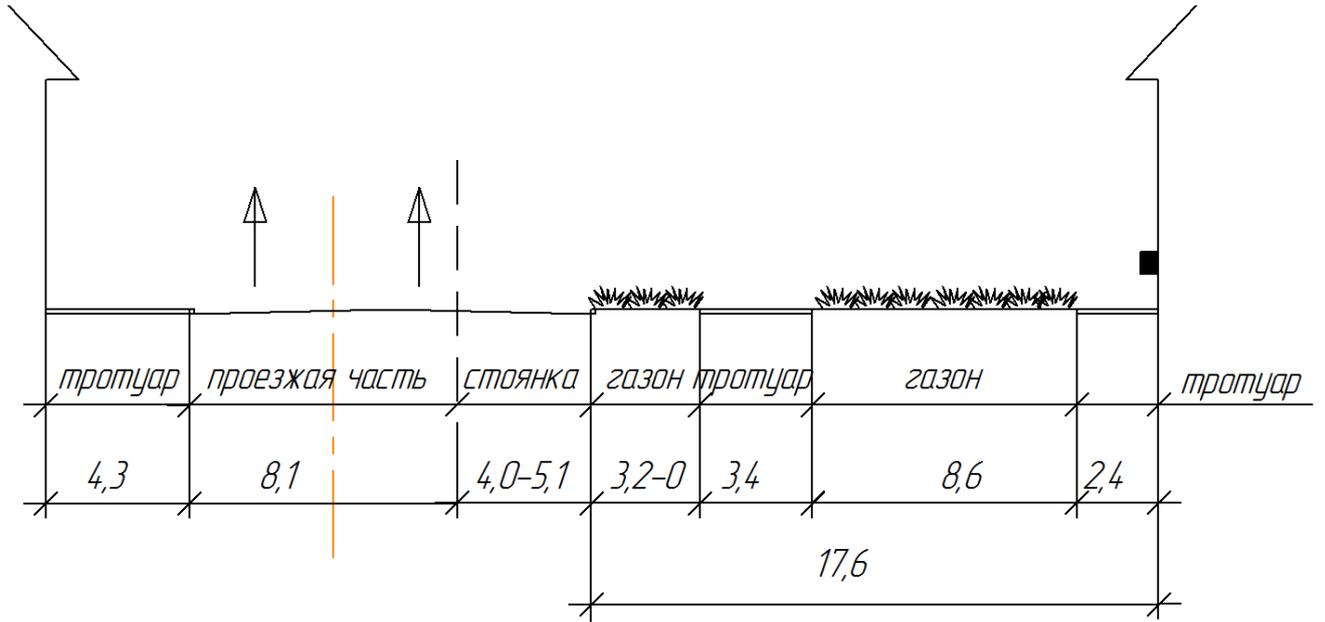


Рисунок А.4 – Поперечный разрез ул. Екатерининской у дома № 194

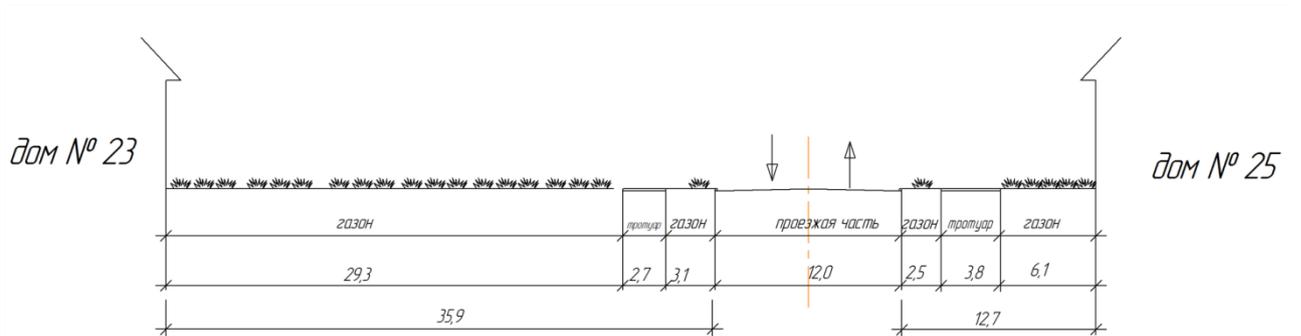


Рисунок А.5 – Поперечный разрез ул. Газеты «Звезда» у дома по адресу ул. Пушкина, д. 25

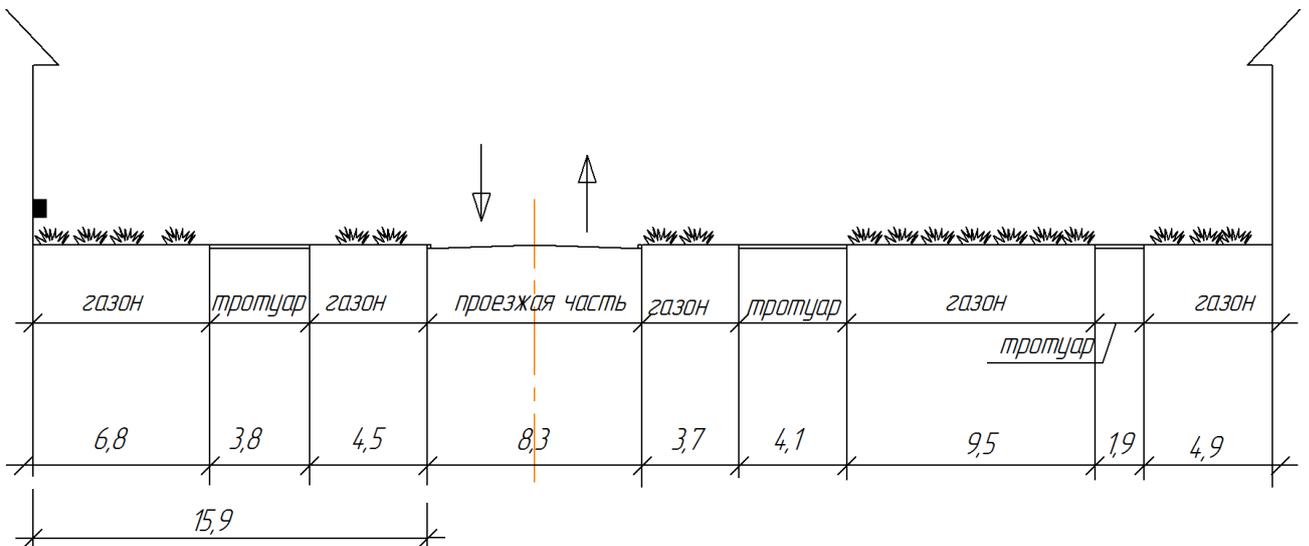


Рисунок А.6 – Поперечный разрез ул. Пушкина у дома № 25

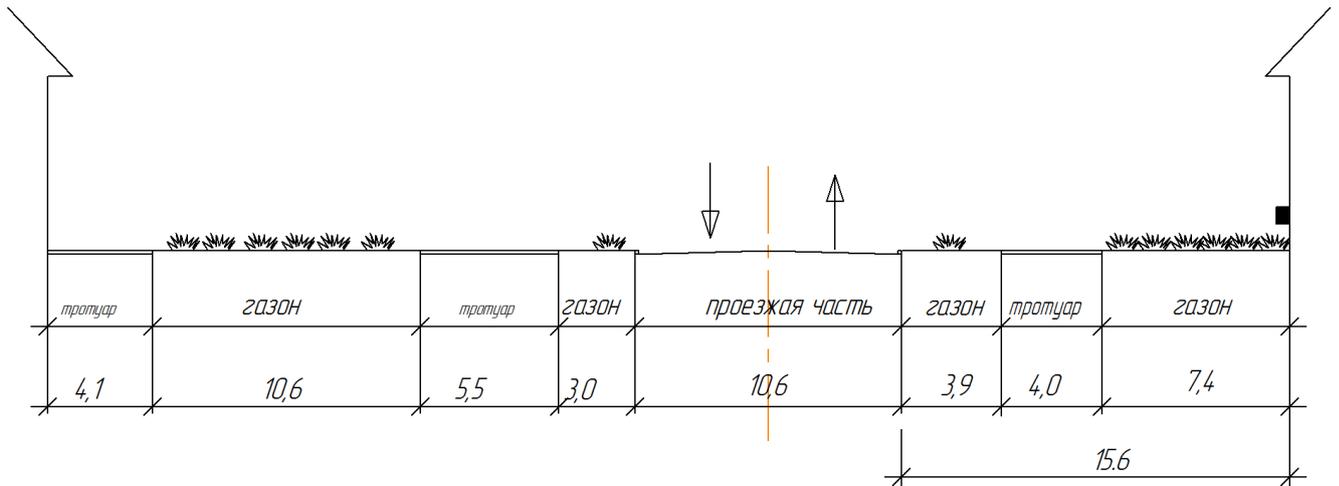


Рисунок А.7 – Поперечный разрез ул. Пушкина у дома № 23

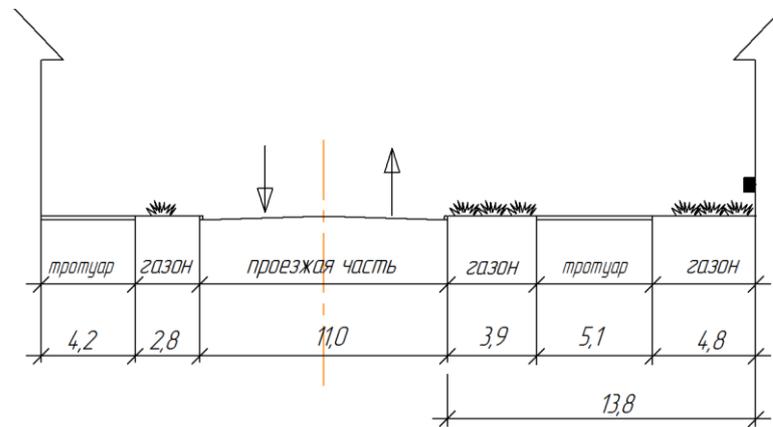


Рисунок А.8 – Поперечный разрез ул. Луначарского у дома по адресу ул. Пушкина, д. 23

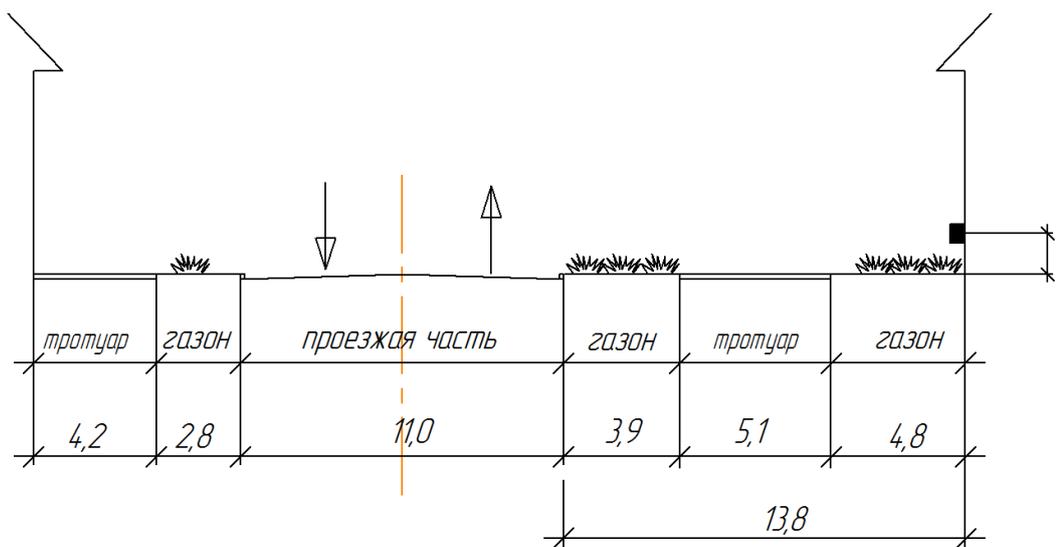


Рисунок А.9 – Поперечный разрез ул. Луначарского у дома по адресу ул. Пушкина, д. 21

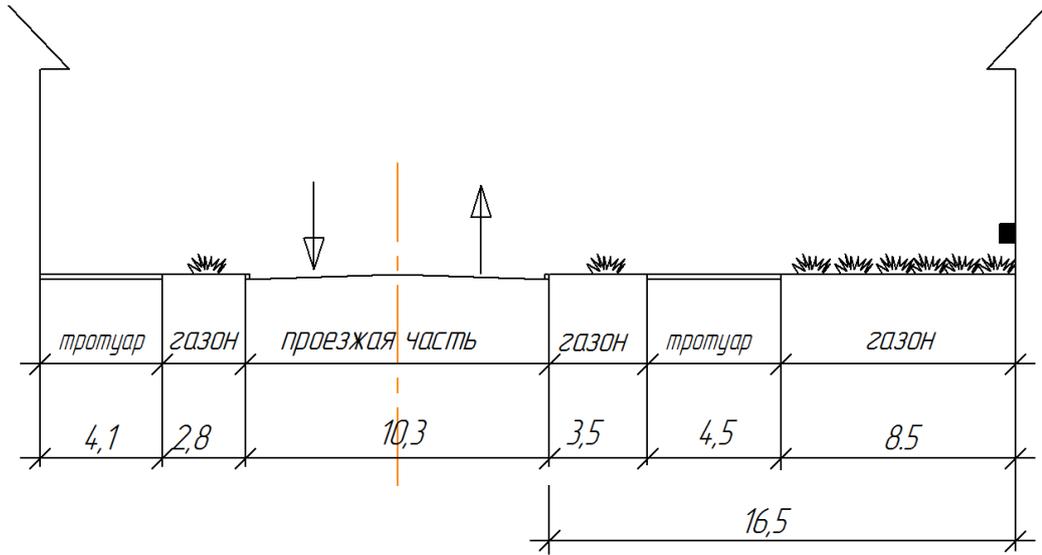


Рисунок А.10 – Поперечный разрез ул. Пушкина у дома № 21



Рисунок А.11 – Поперечный разрез ул. Пушкина у дома № 11

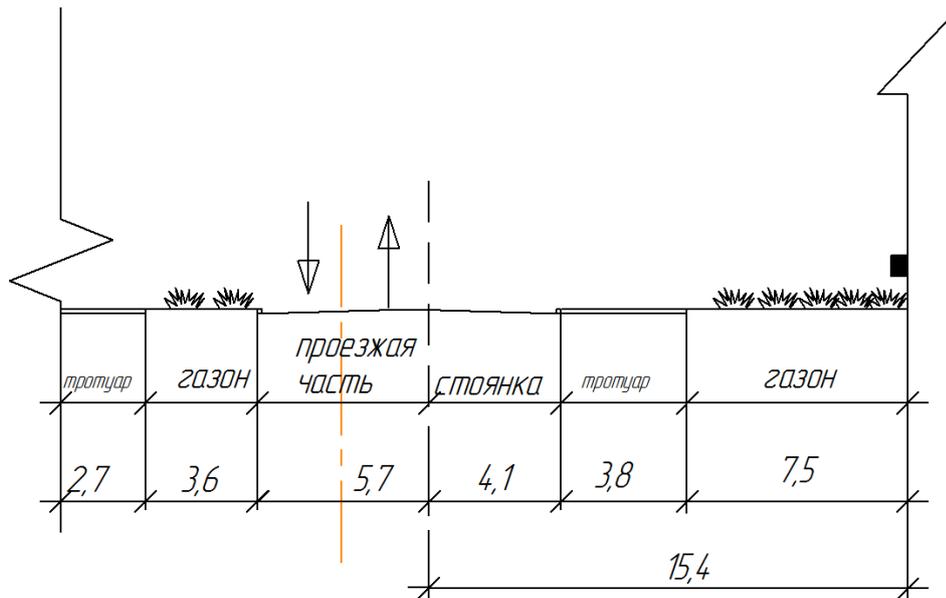


Рисунок А.12 – Поперечный разрез ул. Пушкина у дома № 27

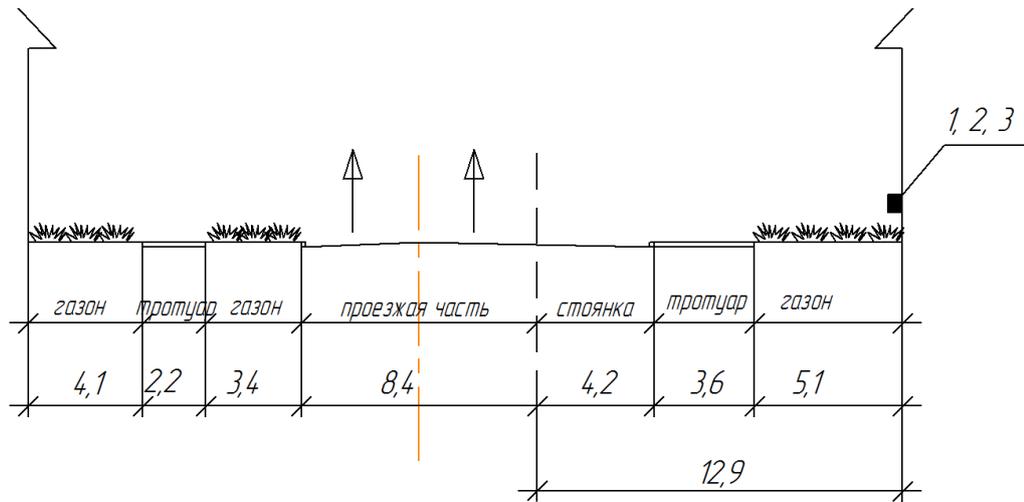


Рисунок А.13 – Поперечный разрез ул. Луначарского у дома № 128

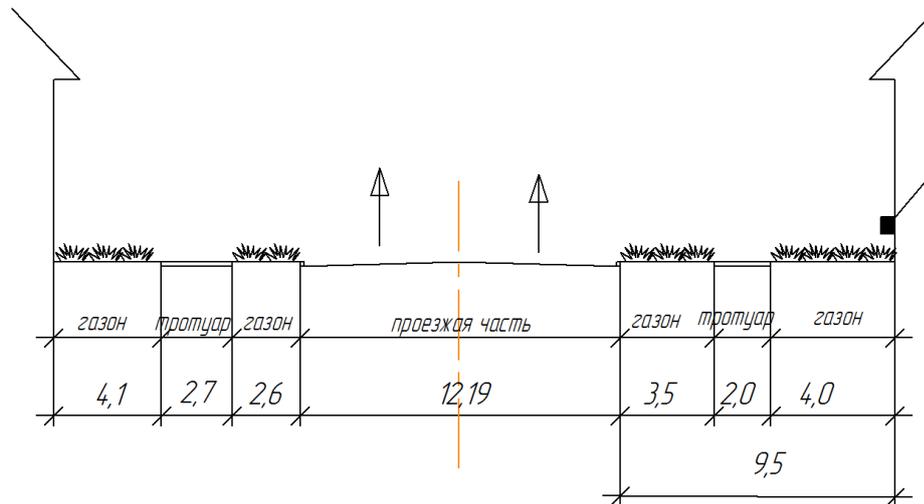


Рисунок А.14 – Поперечный разрез ул. Луначарского у дома № 135

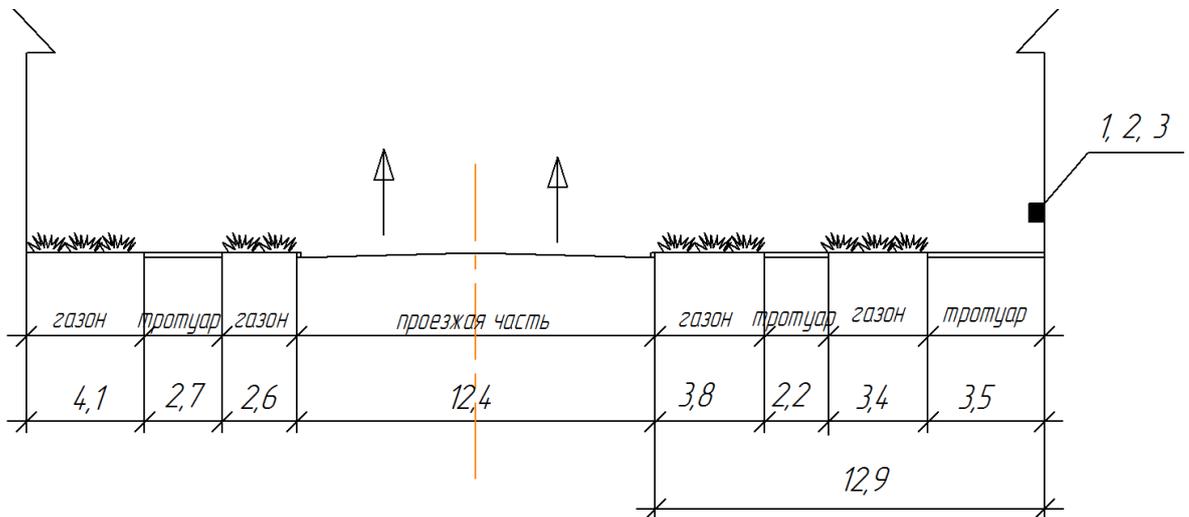


Рисунок А.15 – Поперечный разрез ул. Луначарского у дома № 133

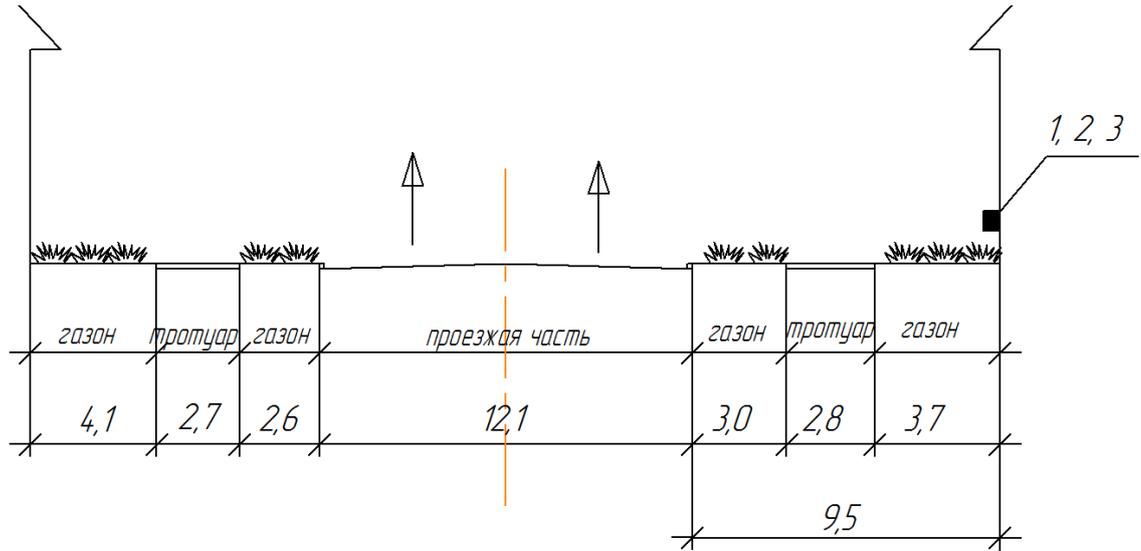


Рисунок А.16 – Поперечный разрез ул. Луначарского у дома № 134

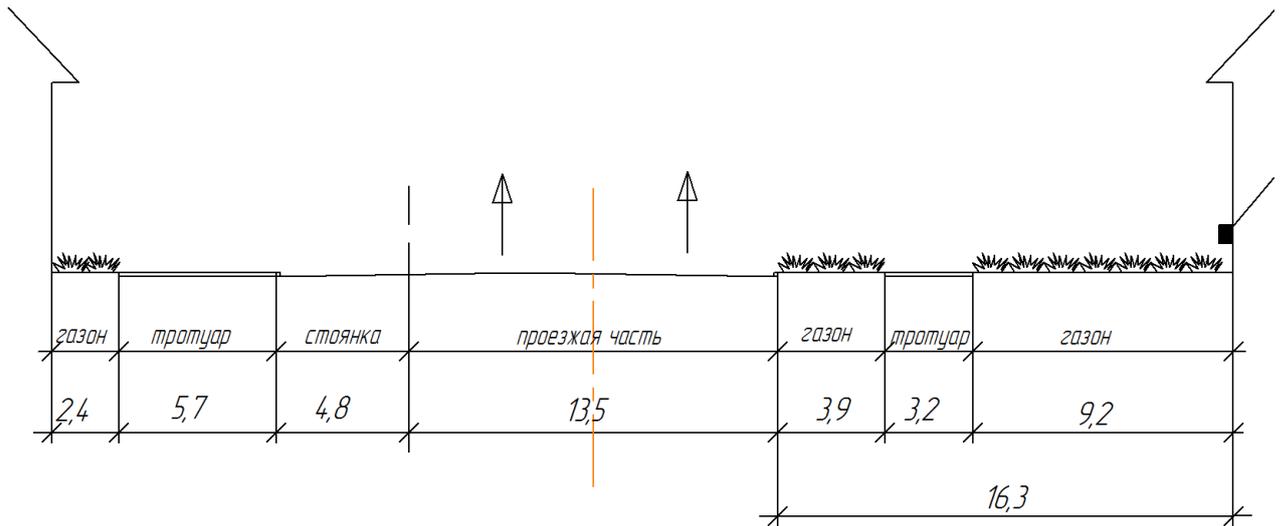


Рисунок А.17 – Поперечный разрез ул. Луначарского у дома № 96

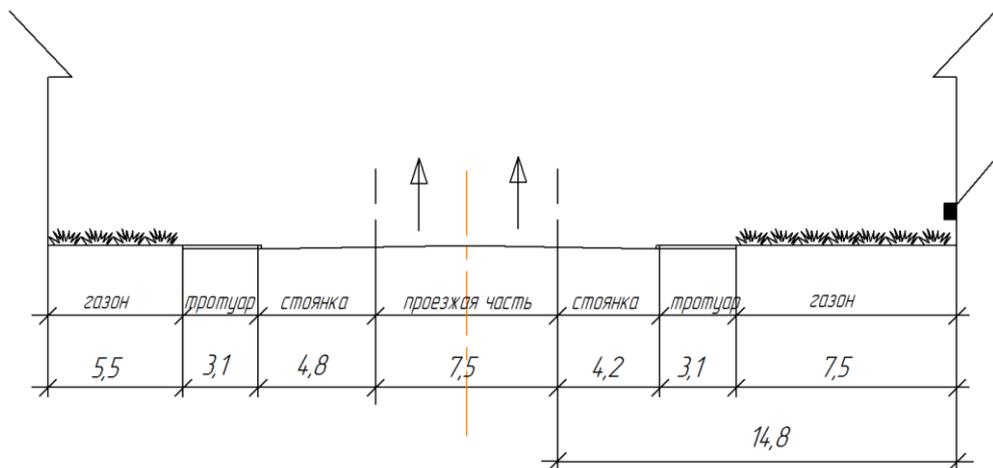


Рисунок А.18 – Поперечный разрез ул. Луначарского у дома № 94

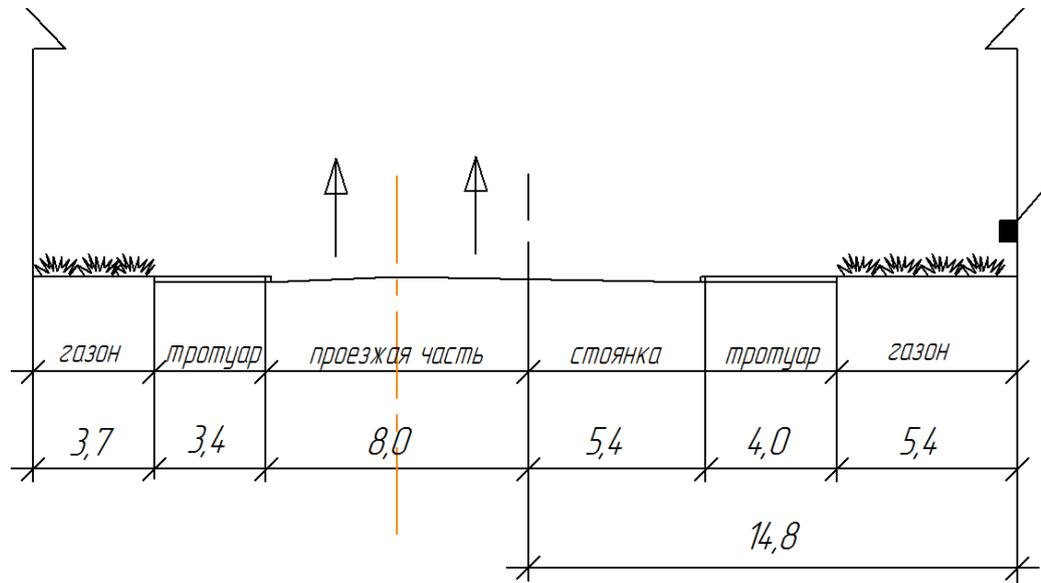


Рисунок А.19 – Поперечный разрез ул. Луначарского у дома № 90

Приложение Б

Результаты численного моделирования.

Моделирование натуральных площадок.

Графики зависимости виброускорения от рассматриваемых параметров

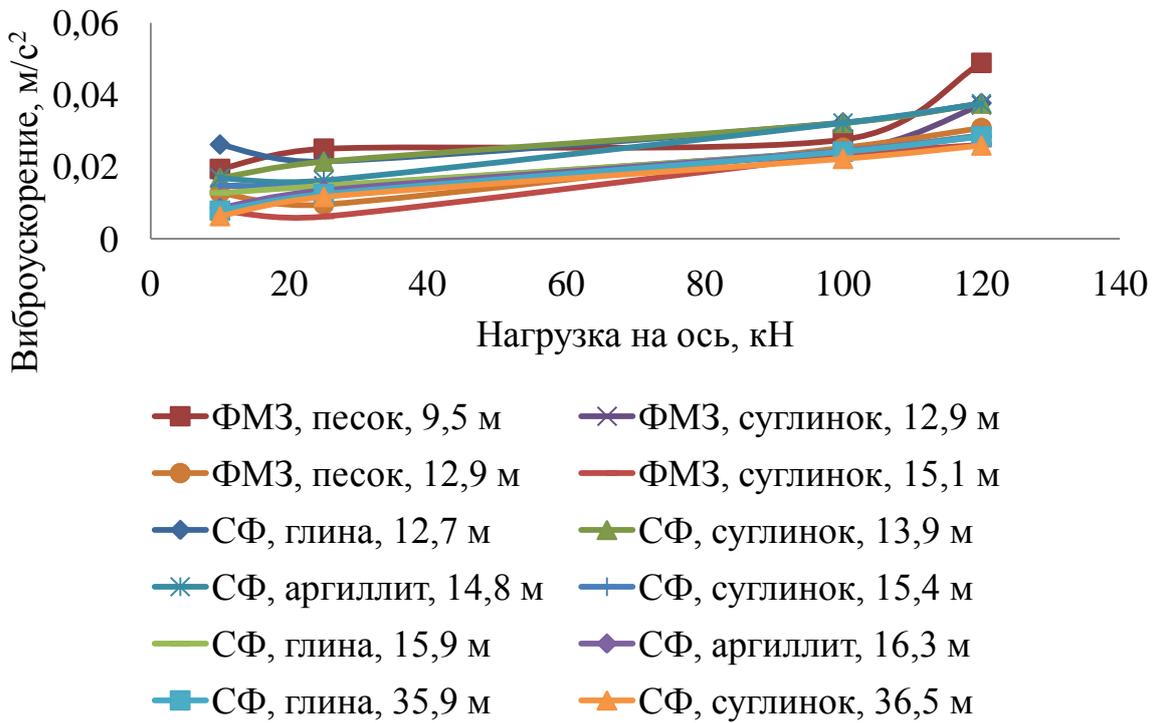


Рисунок Б.1 – Зависимость вертикальной составляющей виброускорения от нагрузки на ось

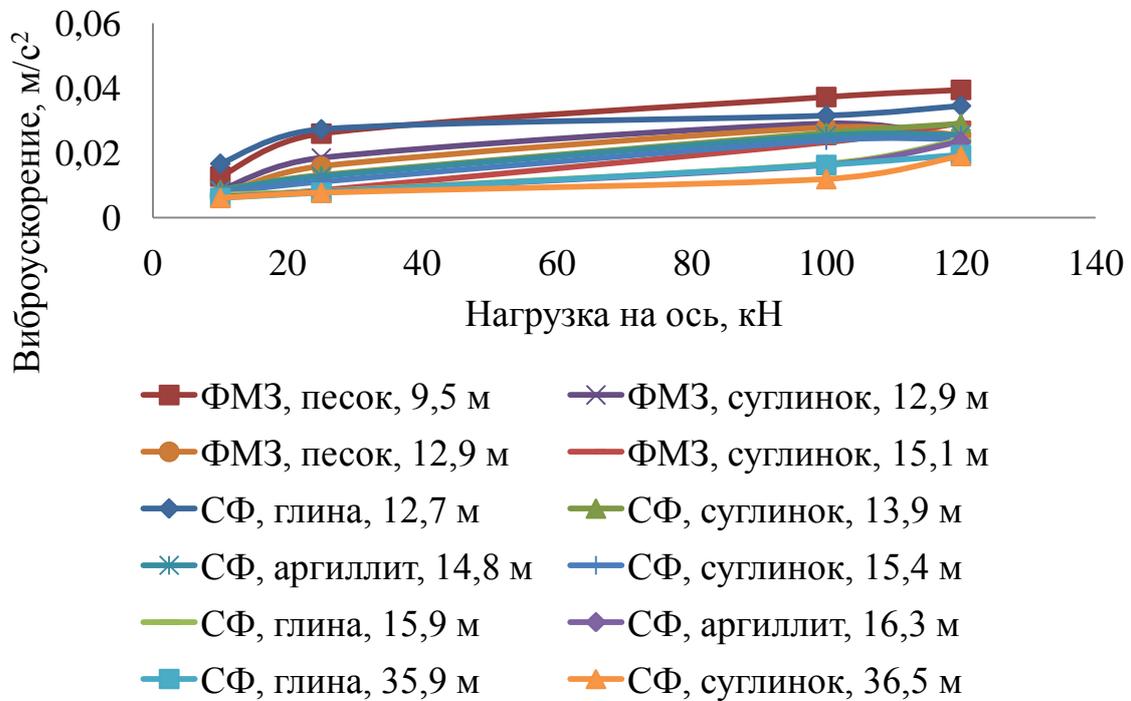


Рисунок Б.2 – Зависимость горизонтальной составляющей виброускорения от нагрузки на ось

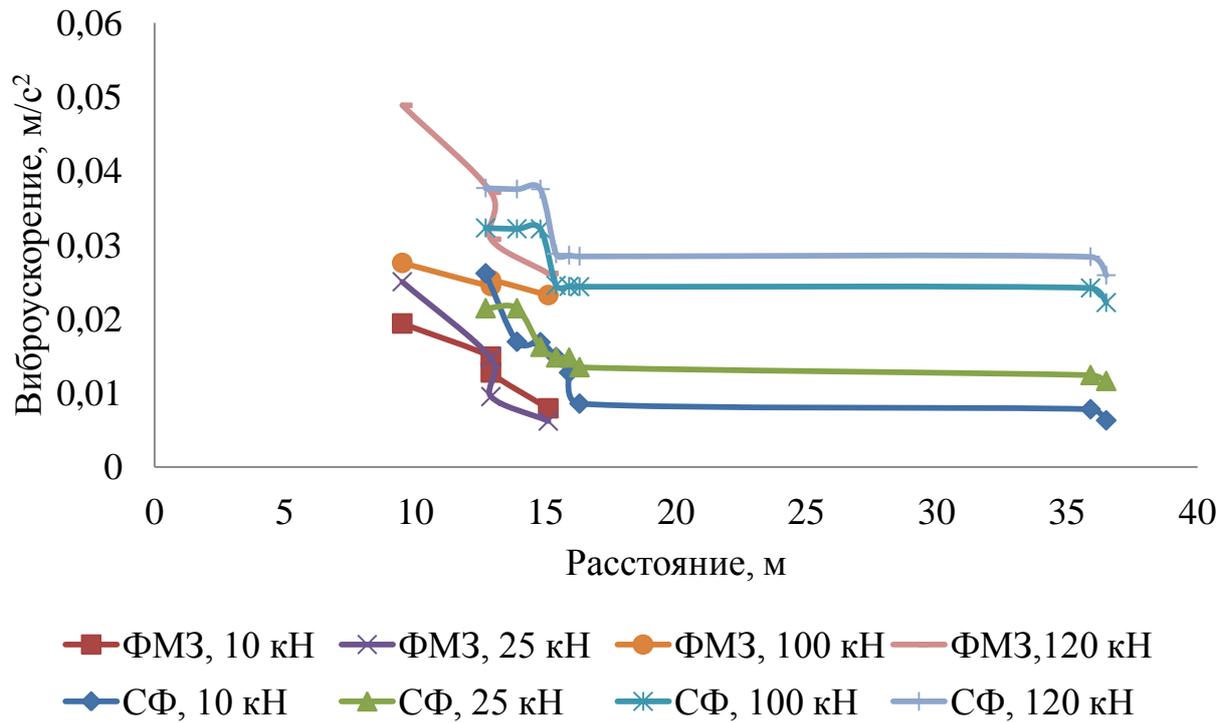


Рисунок Б.3 – Зависимость вертикальной составляющей виброускорения от расстояния

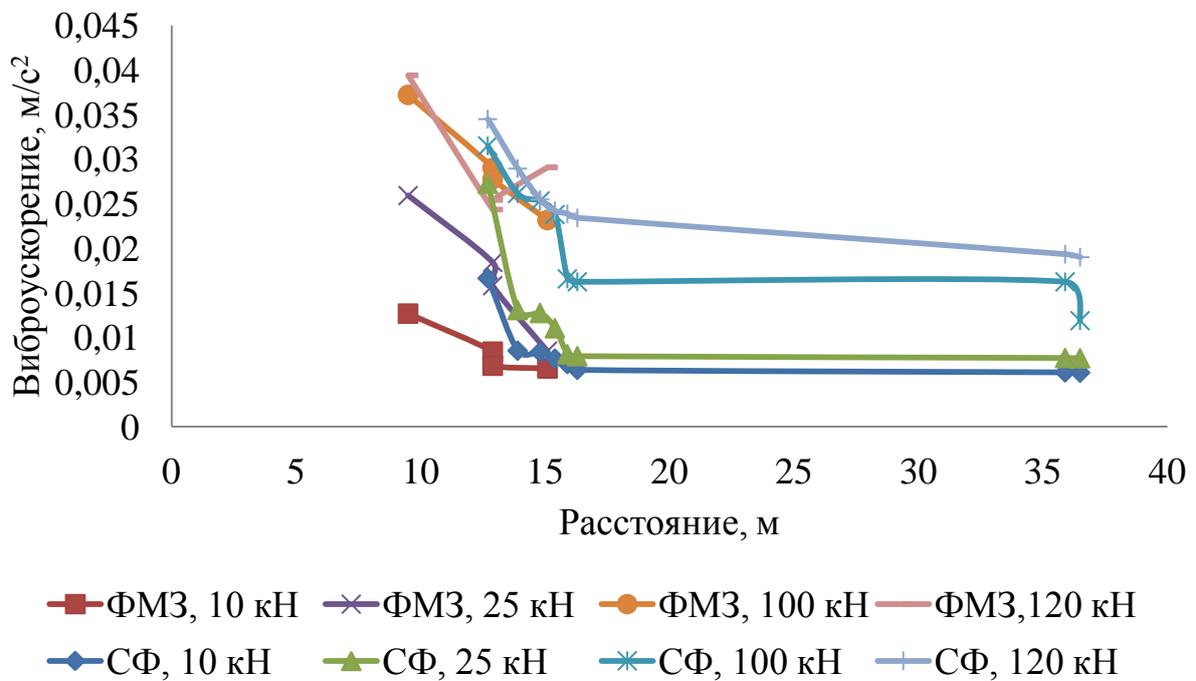


Рисунок Б.4 – Зависимость горизонтальной составляющей виброускорения от расстояния

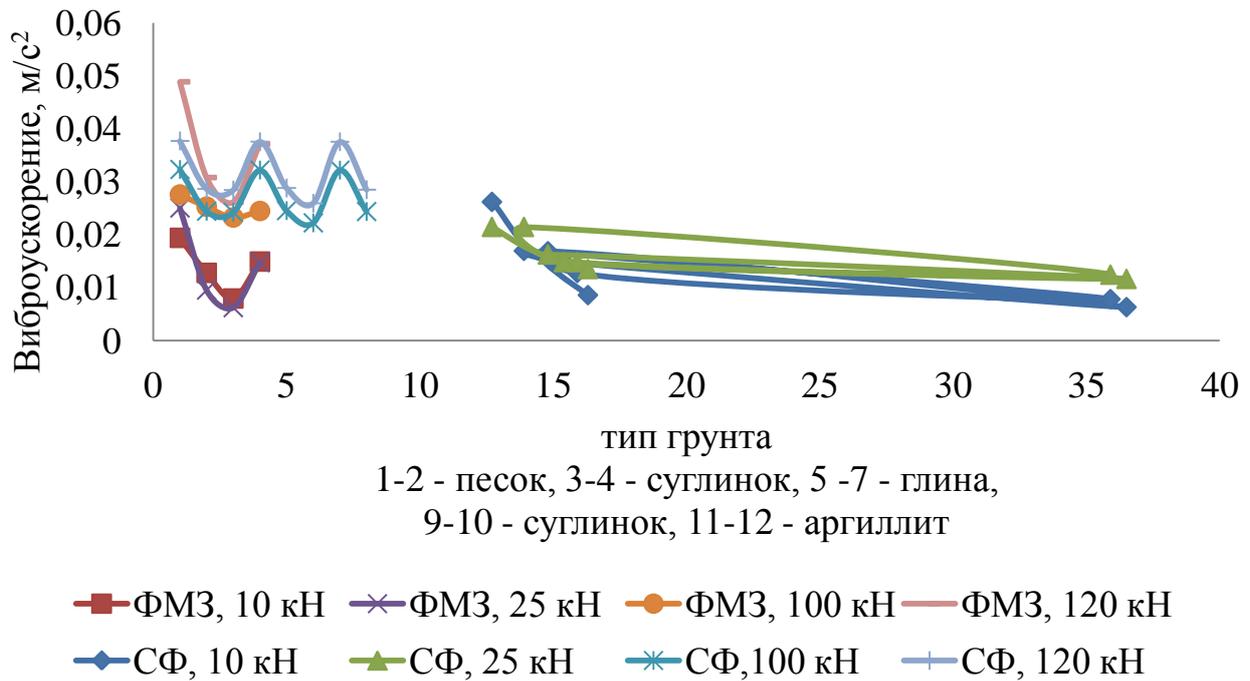


Рис. Б.5 – Зависимость вертикальной составляющей виброускорения от типа грунта

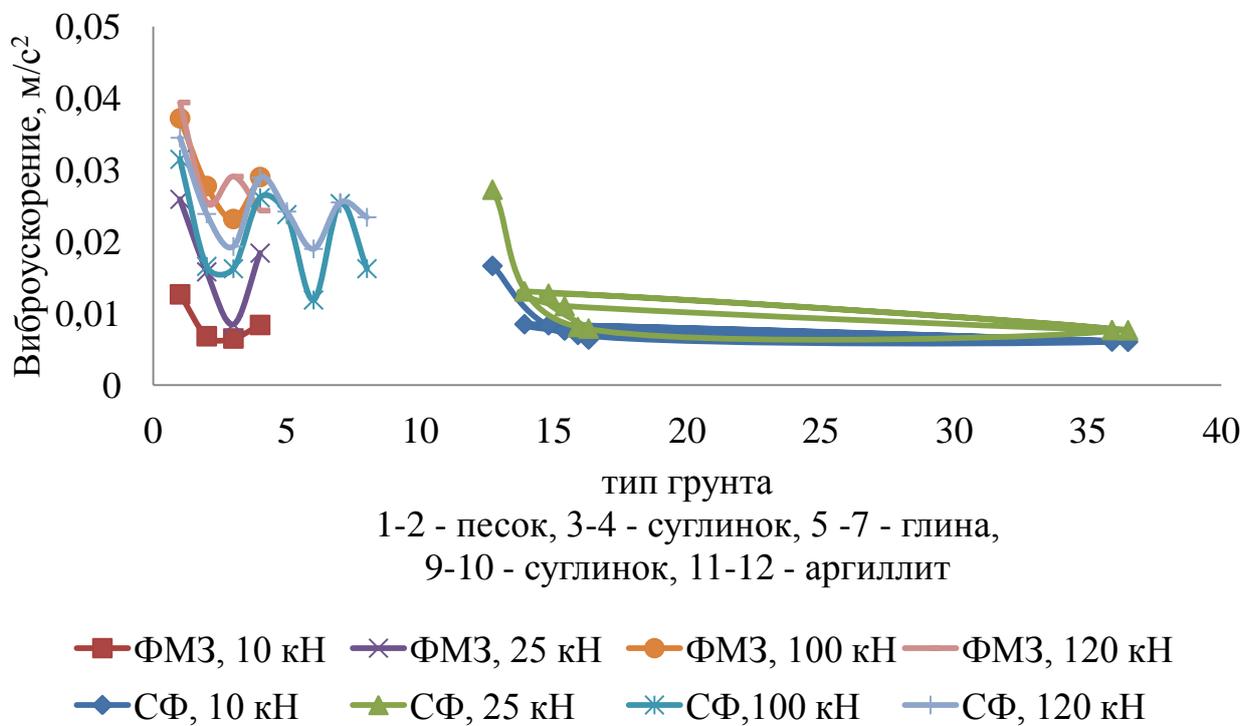


Рис. Б.6 – Зависимость горизонтальной составляющей виброускорения от типа грунта

Приложение В

Результаты численного моделирования. Матрицы результатов расчетов

Таблица В.1 – Матрица результатов численного моделирования для фундамента мелкого заложения, вертикальная составляющая виброускорения

№ опыта	Масса	Расстояние	Грунт	Ускорение	
	x1	x2	x3	y	м/с ²
1	1	1	1	y1	0,0075387
2	1	1	2	y2	0,01508922
3	1	1	3	y3	0,00966015
4	1	1	4	y4	0,02555685
5	1	2	1	y5	0,000611733
6	1	2	2	y6	0,001448319
7	1	2	3	y7	0,000778314
8	1	2	4	y8	0,002968884
9	1	3	1	y9	0,000129358
10	1	3	2	y10	0,000364698
11	1	3	3	y11	0,000146102
12	1	3	4	y12	0,00084363
13	1	4	1	y13	5,69373E-05
14	1	4	2	y14	0,000164523
15	1	4	3	y15	5,50803E-05
16	1	4	4	y16	0,000353631
17	2	1	1	y17	0,0607374
18	2	1	2	y18	0,1201581
19	2	1	3	y19	0,0760452
20	2	1	4	y20	0,1858518
21	2	2	1	y21	0,00835281
22	2	2	2	y22	0,01907553
23	2	2	3	y23	0,01142931
24	2	2	4	y24	0,0317118
25	2	3	1	y25	0,002327112
26	2	3	2	y26	0,00623319
27	2	3	3	y27	0,002371959

Приложение В Продолжение

Продолжение таблицы В.1

№ опыта	Масса	Расстояние	Грунт	Ускорение	
	x1	x2	x3	y	м/с ²
28	2	3	4	y28	0,01188474
29	2	4	1	y29	0,001577295
30	2	4	2	y30	0,00467148
31	2	4	3	y31	0,001500219
32	2	4	4	y32	0,00977838
33	3	1	1	y33	0,0644355
34	3	1	2	y34	0,0595068
35	3	1	3	y35	0,0831297
36	3	1	4	y36	0,207036
37	3	2	1	y37	0,00992709
38	3	2	2	y38	0,01136145
39	3	2	3	y39	0,01226712
40	3	2	4	y40	0,0389316
41	3	3	1	y41	0,00304245
42	3	3	2	y42	0,00481353
43	3	3	3	y43	0,00312465
44	3	3	4	y44	0,01551582
45	3	4	1	y45	0,002565624
46	3	4	2	y46	0,00460995
47	3	4	3	y47	0,001830864
48	3	4	4	y48	0,01585899
49	4	1	1	y49	0,123888
50	4	1	2	y50	0,1262091
51	4	1	3	y51	0,1688991
52	4	1	4	y52	0,405096
53	4	2	1	y53	0,01790613
54	4	2	2	y54	0,02547267
55	4	2	3	y55	0,0255195
56	4	2	4	y56	0,0675003

Приложение В Продолжение

Окончание таблицы В.1

№ опыта	Масса	Расстояние	Грунт	Ускорение	
	x1	x2	x3	y	м/с ²
57	4	3	1	y57	0,00518889
58	4	3	2	y58	0,00877806
59	4	3	3	y59	0,00528789
60	4	3	4	y60	0,02558466
61	4	4	1	y61	0,0034569
62	4	4	2	y62	0,00688134
63	4	4	3	y63	0,00330042
64	4	4	4	y64	0,02061645

Таблица В.2 – Матрица результатов численного моделирования для фундамента мелкого заложения, горизонтальная составляющая виброускорения

№ опыта	Масса	Расстояние	Грунт	Ускорение	
	x1	x2	x3	y	м/с ²
1	1	1	1	y1	0,00449895
2	1	1	2	y2	0,00877731
3	1	1	3	y3	0,00645111
4	1	1	4	y4	0,0150558
5	1	2	1	y5	0,00297075
6	1	2	2	y6	0,001639062
7	1	2	3	y7	0,000832026
8	1	2	4	y8	0,00349263
9	1	3	1	y9	0,000129657
10	1	3	2	y10	0,000412809
11	1	3	3	y11	0,000102874
12	1	3	4	y12	0,001345485
13	1	4	1	y13	0,000629436
14	1	4	2	y14	0,000235542
15	1	4	3	y15	4,37022E-05

Приложение В Продолжение

Продолжение таблицы В.2

№ опыта	Масса	Расстояние	Грунт	Ускорение	
	x1	x2	x3	y	м/с ²
16	1	4	4	y16	0,00058017
17	2	1	1	y17	0,0491586
18	2	1	2	y18	0,0886083
19	2	1	3	y19	0,0786675
20	2	1	4	y20	0,1285368
21	2	2	1	y21	0,01066257
22	2	2	2	y22	0,0258111
23	2	2	3	y23	0,01237077
24	2	2	4	y24	0,055494
25	2	3	1	y25	0,0028977
26	2	3	2	y26	0,00958275
27	2	3	3	y27	0,0032874
28	2	3	4	y28	0,02123832
29	2	4	1	y29	0,001786401
30	2	4	2	y30	0,0070122
31	2	4	3	y31	0,001174605
32	2	4	4	y32	0,01708998
33	3	1	1	y33	0,0462219
34	3	1	2	y34	0,0438
35	3	1	3	y35	0,071553
36	3	1	4	y36	0,1332645
37	3	2	1	y37	0,01403508
38	3	2	2	y38	0,02354652
39	3	2	3	y39	0,01646667
40	3	2	4	y40	0,0749712
41	3	3	1	y41	0,00362712
42	3	3	2	y42	0,00871218
43	3	3	3	y43	0,00389775
44	3	3	4	y44	0,02926128

Приложение В Продолжение

Окончание таблицы В.2

№ опыта	Масса	Расстояние	Грунт	Ускорение	
	x1	x2	x3	y	м/с ²
45	3	4	1	y45	0,002888901
46	3	4	2	y46	0,0064191
47	3	4	3	y47	0,00187473
48	3	4	4	y48	0,02768772
49	4	1	1	y49	0,1079151
50	4	1	2	y50	0,1199415
51	4	1	3	y51	0,1684221
52	4	1	4	y52	0,273612
53	4	2	1	y53	0,02331207
54	4	2	2	y54	0,0430929
55	4	2	3	y55	0,02736501
56	4	2	4	y56	0,1230273
57	4	3	1	y57	0,00640152
58	4	3	2	y58	0,01600266
59	4	3	3	y59	0,00719874
60	4	3	4	y60	0,0455931
61	4	4	1	y61	0,00394458
62	4	4	2	y62	0,00991707
63	4	4	3	y63	0,002554416
64	4	4	4	y64	0,0367869

Таблица В.3 – Матрица результатов численного моделирования для свайного фундамента, вертикальная составляющая виброускорения

№ опыта	Масса	Расстояние	Грунт	Ускорение	
	x1	x2	x3	y	м/с ²
1	1	1	1	y1	0,00421344
2	1	1	2	y2	0,00883473
3	1	1	3	y3	0,00546

Приложение В Продолжение

Продолжение таблицы В.3

№ опыта	Масса	Расстояние	Грунт	Ускорение	
	x1	x2	x3	y	м/с ²
4	1	1	4	y4	0,0158628
5	1	2	1	y5	0,000429582
6	1	2	2	y6	0,001051812
7	1	2	3	y7	0,000537051
8	1	2	4	y8	0,002140611
9	1	3	1	y9	0,000940773
10	1	3	2	y10	0,000303402
11	1	3	3	y11	0,000116732
12	1	3	4	y12	0,000709581
13	1	4	1	y13	0,000058926
14	1	4	2	y14	0,000172393
15	1	4	3	y15	5,72385E-05
16	1	4	4	y16	0,000372675
17	2	1	1	y17	0,041691
18	2	1	2	y18	0,0850719
19	2	1	3	y19	0,0536025
20	2	1	4	y20	0,1317018
21	2	2	1	y21	0,00636555
22	2	2	2	y22	0,01465806
23	2	2	3	y23	0,00783177
24	2	2	4	y24	0,02502984
25	2	3	1	y25	0,001950636
26	2	3	2	y26	0,0051222
27	2	3	3	y27	0,002003139
28	2	3	4	y28	0,00997338
29	2	4	1	y29	0,0644442
30	2	4	2	y30	0,00495486
31	2	4	3	y31	0,001552065
32	2	4	4	y32	0,01017978

Приложение В Продолжение

Продолжение таблицы В.3

№ опыта	Масса	Расстояние	Грунт	Ускорение	
	x1	x2	x3	y	м/с ²
33	3	1	1	y33	0,02795211
34	3	1	2	y34	0,0595002
35	3	1	3	y35	0,0831507
36	3	1	4	y36	0,2070453
37	3	2	1	y37	0,0099216
38	3	2	2	y38	0,01134951
39	3	2	3	y39	0,01225689
40	3	2	4	y40	0,0389169
41	3	3	1	y41	0,002987607
42	3	3	2	y42	0,00480666
43	3	3	3	y43	0,0031218
44	3	3	4	y44	0,01550451
45	3	4	1	y45	0,002561328
46	3	4	2	y46	0,00459765
47	3	4	3	y47	0,002425857
48	3	4	4	y48	0,01583619
49	4	1	1	y49	0,08775
50	4	1	2	y50	0,1739658
51	4	1	3	y51	0,1188747
52	4	1	4	y52	0,2957175
53	4	2	1	y53	0,01332522
54	4	2	2	y54	0,0315297
55	4	2	3	y55	0,01748409
56	4	2	4	y56	0,050997
57	4	3	1	y57	0,00423408
58	4	3	2	y58	0,01143882
59	4	3	3	y59	0,00425796
60	4	3	4	y60	0,02185875
61	4	4	1	y61	0,0035496

Приложение В Продолжение

Окончание таблицы В.3

№ опыта	Масса	Расстояние	Грунт	Ускорение	
	x1	x2	x3	y	м/с ²
62	4	4	2	y62	0,01074009
63	4	4	3	y63	0,029472
64	4	4	4	y64	0,02150904

Таблица В.4 – Матрица результатов численного моделирования для свайного фундамента, горизонтальная составляющая виброускорения

№ опыта	Масса	Расстояние	Грунт	Ускорение	
	x1	x2	x3	y	м/с ²
1	1	1	1	y1	0,002321145
2	1	1	2	y2	0,0044385
3	1	1	3	y3	0,00348
4	1	1	4	y4	0,00745281
5	1	2	1	y5	0,000394674
6	1	2	2	y6	0,001238121
7	1	2	3	y7	0,000680574
8	1	2	4	y8	0,002767596
9	1	3	1	y9	0,000103301
10	1	3	2	y10	0,000291518
11	1	3	3	y11	8,12991E-05
12	1	3	4	y12	0,001169472
13	1	4	1	y13	6,20001E-05
14	1	4	2	y14	0,000237567
15	1	4	3	y15	0,000041721
16	1	4	4	y16	0,000598569
17	2	1	1	y17	0,02913537
18	2	1	2	y18	0,0543264
19	2	1	3	y19	0,0454791
20	2	1	4	y20	0,0837081

Приложение В Продолжение

Продолжение таблицы В.4

№ опыта	Масса	Расстояние	Грунт	Ускорение	
	x1	x2	x3	y	м/с ²
21	2	2	1	y21	0,0090342
22	2	2	2	y22	0,02202417
23	2	2	3	y23	0,01062378
24	2	2	4	y24	0,0482583
25	2	3	1	y25	0,002275206
26	2	3	2	y26	0,00812001
27	2	3	3	y27	0,002498019
28	2	3	4	y28	0,01840314
29	2	4	1	y29	0,001804674
30	2	4	2	y30	0,00715389
31	2	4	3	y31	0,001166748
32	2	4	4	y32	0,01742463
33	3	1	1	y33	0,0455373
34	3	1	2	y34	0,0429981
35	3	1	3	y35	0,0708606
36	3	1	4	y36	0,1299876
37	3	2	1	y37	0,01410501
38	3	2	2	y38	0,02369841
39	3	2	3	y39	0,01661025
40	3	2	4	y40	0,0751989
41	3	3	1	y41	0,0035325
42	3	3	2	y42	0,0085296
43	3	3	3	y43	0,00389811
44	3	3	4	y44	0,02876655
45	3	4	1	y45	0,00281691
46	3	4	2	y46	0,00624426
47	3	4	3	y47	0,001820259
48	3	4	4	y48	0,02715468
49	4	1	1	y49	0,0627453

Приложение В Окончание

Окончание таблицы В.4

№ опыта	Масса	Расстояние	Грунт	Ускорение	
	x1	x2	x3	y	м/с ²
50	4	1	2	y50	0,1189146
51	4	1	3	y51	0,0972819
52	4	1	4	y52	0,1748712
53	4	2	1	y53	0,01985394
54	4	2	2	y54	0,0483198
55	4	2	3	y55	0,02357505
56	4	2	4	y56	0,1042356
57	4	3	1	y57	0,0050622
58	4	3	2	y58	0,01744656
59	4	3	3	y59	0,00545601
60	4	3	4	y60	0,0403557
61	4	4	1	y61	0,00394215
62	4	4	2	y62	0,0156765
63	4	4	3	y63	0,002514465
64	4	4	4	y64	0,0368469

Приложение Г

Результаты численного моделирования.

Зависимости виброускорения от рассматриваемых факторов

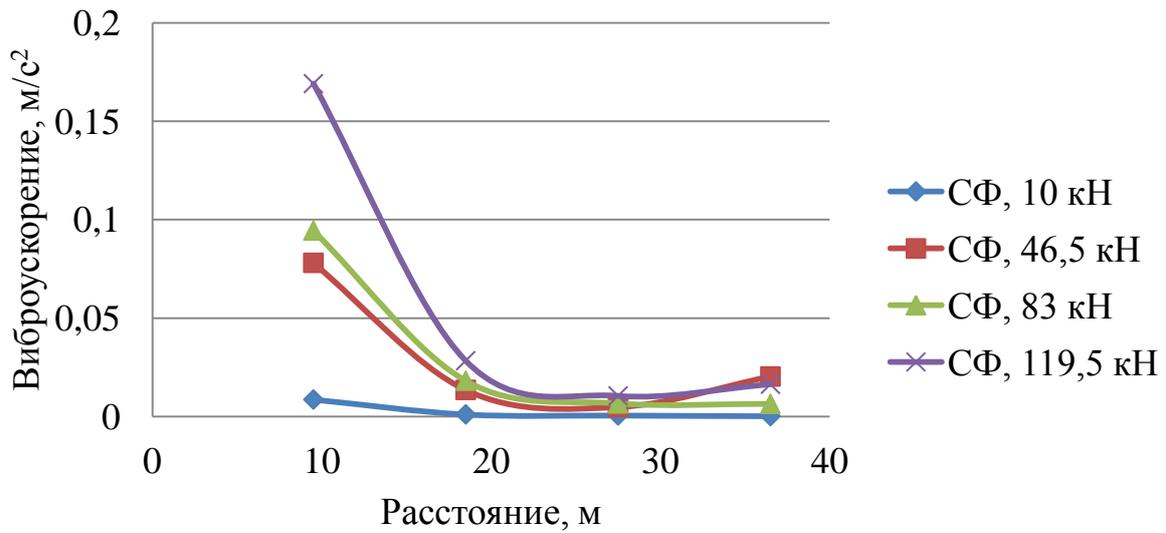


Рисунок Г.1 – Зависимость вертикальной составляющей виброускорения свайного фундамента от расстояния до источника

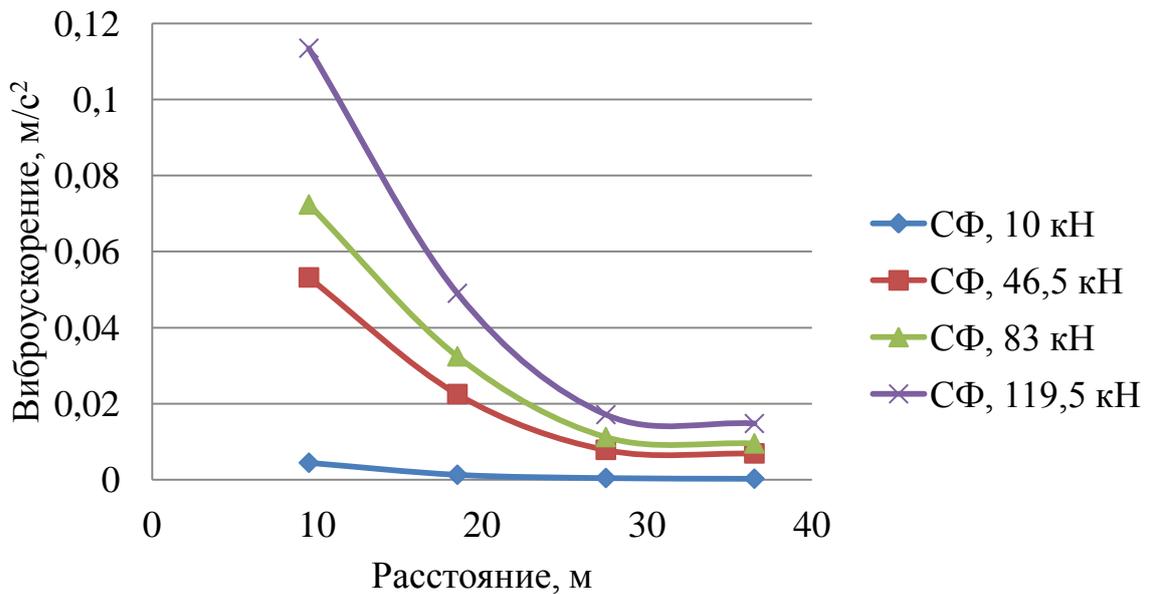


Рисунок Г.2 – Зависимость горизонтальной составляющей виброускорения свайного фундамента от расстояния до источника

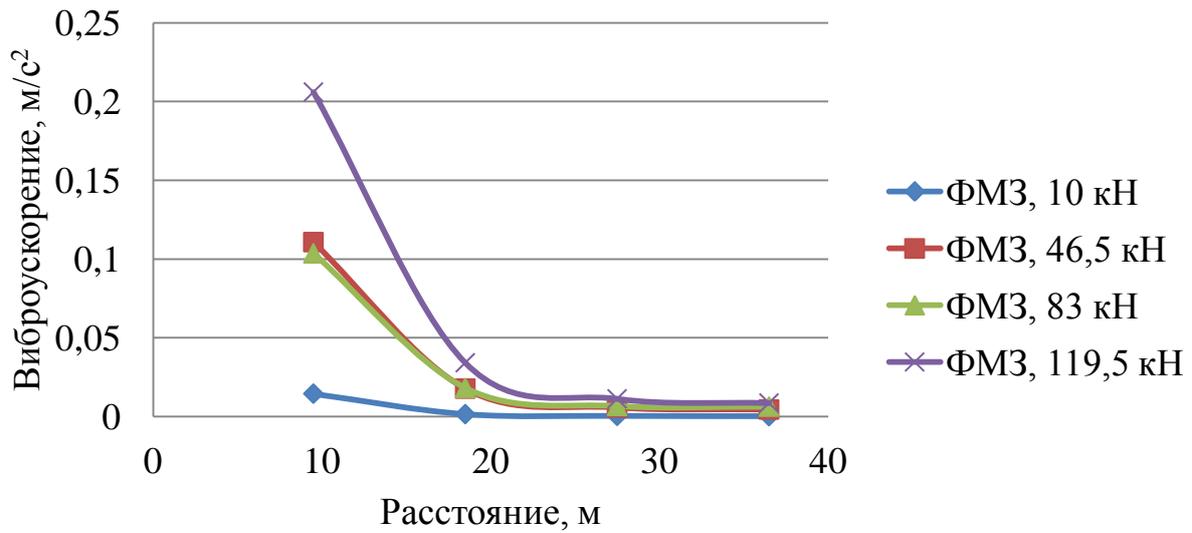


Рисунок Г.3 – Зависимость вертикальной составляющей виброускорения фундамента мелкого заложения от расстояния до источника

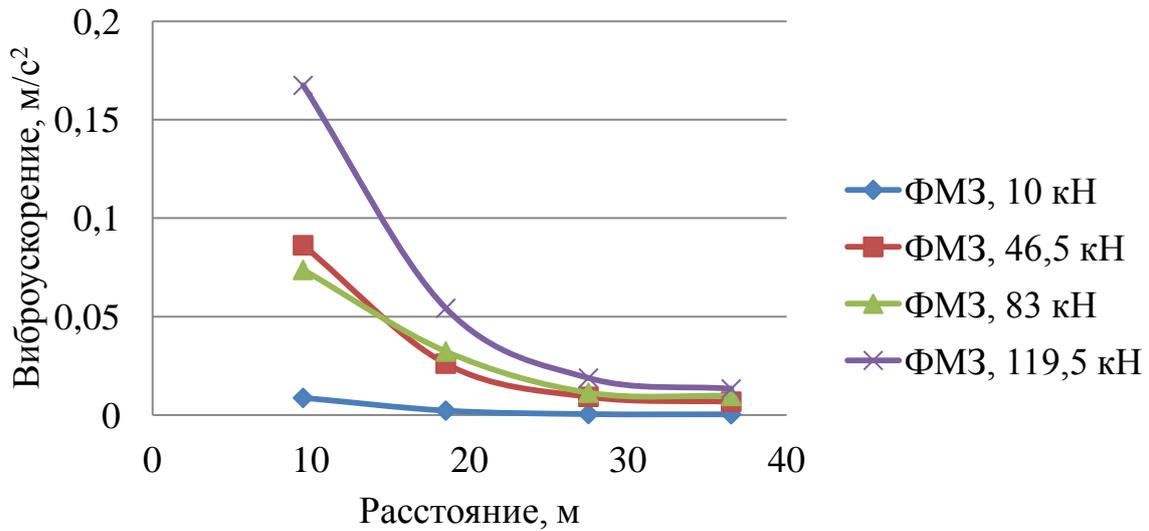


Рисунок Г.4 – Зависимость горизонтальной составляющей виброускорения фундамента мелкого заложения от расстояния до источника

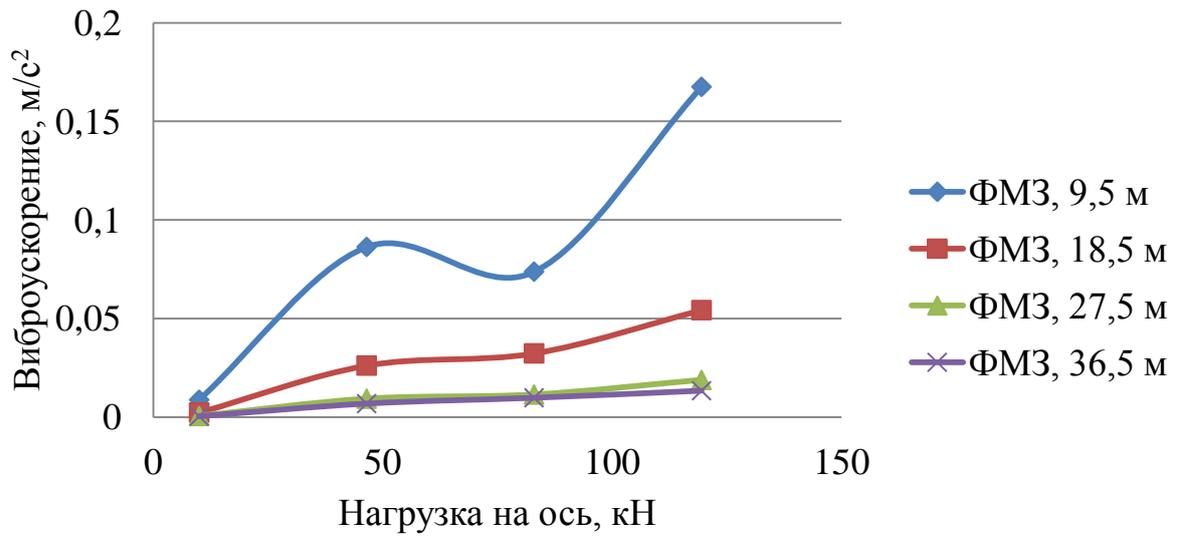


Рисунок Г.5 – Зависимость горизонтальной составляющей виброускорения фундамента мелкого заложения от нагрузки на ось

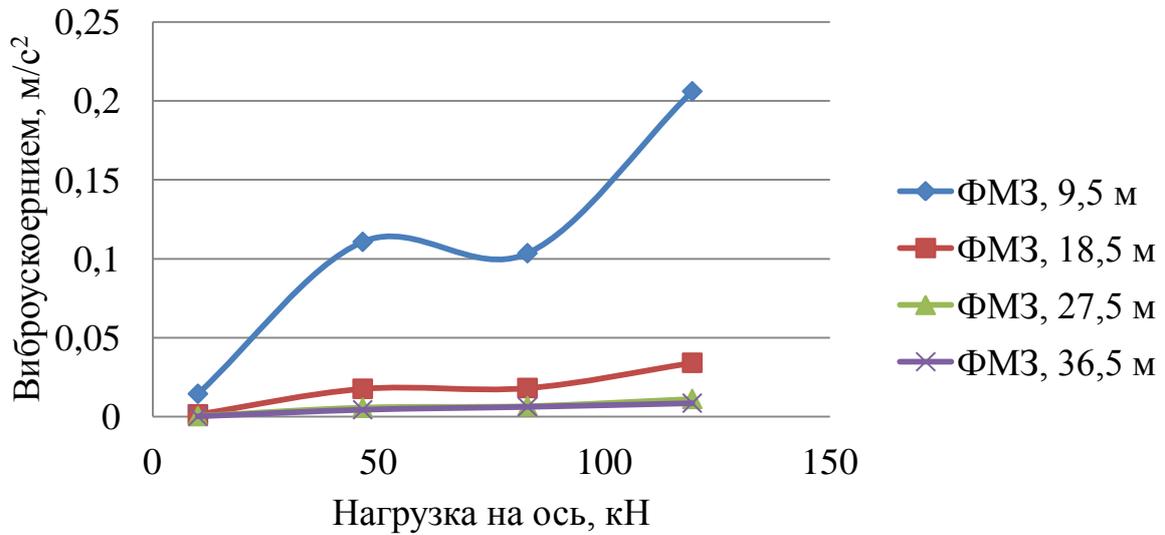


Рисунок Г.6 – Зависимость вертикальной составляющей виброускорения фундамента мелкого заложения от нагрузки на ось

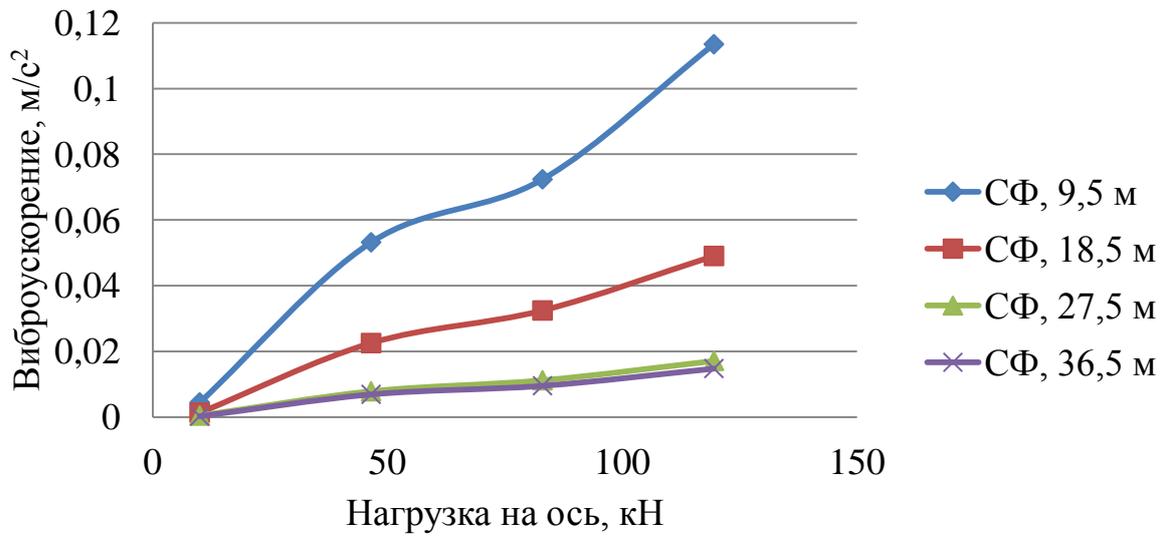


Рисунок Г.7 – Зависимость вертикальной составляющей виброускорения свайного фундамента от нагрузки на ось

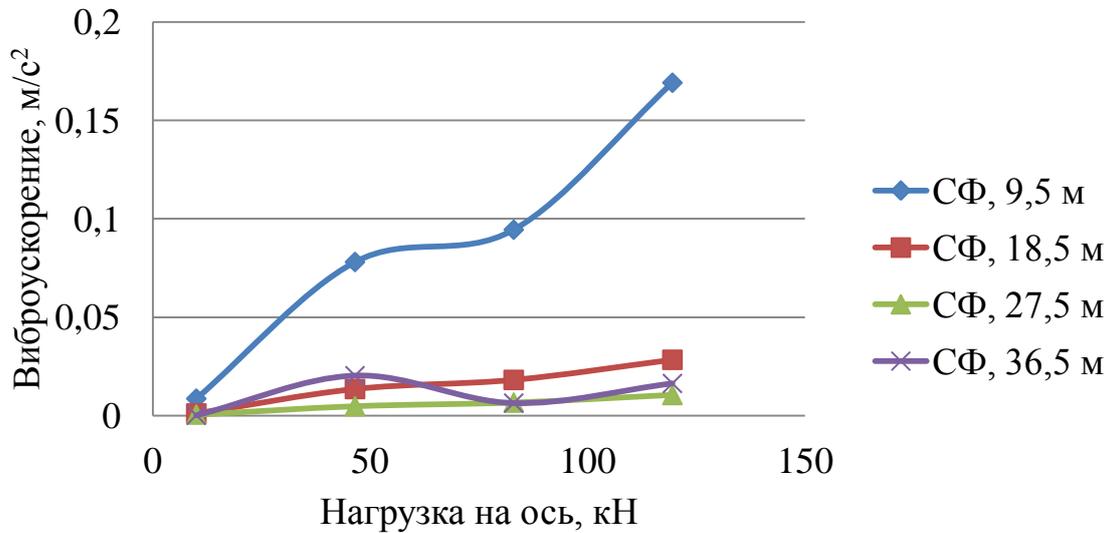


Рисунок Г.8 – Зависимость горизонтальной составляющей виброускорения свайного фундамента от нагрузки на ось

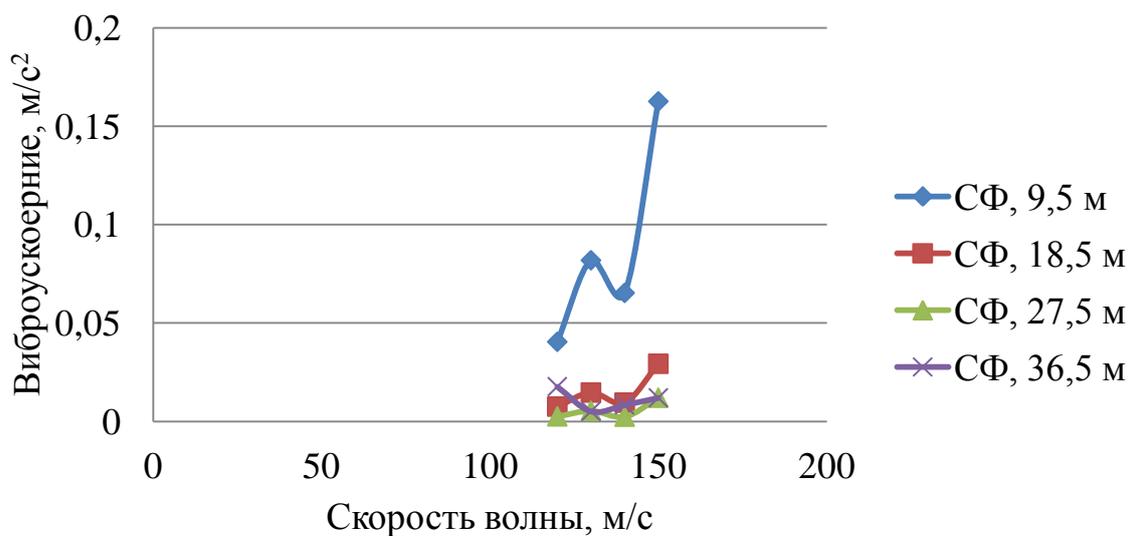


Рисунок Г.9 – Зависимость вертикальной составляющей виброускорения свайного фундамента от типа грунта (скорости волны)

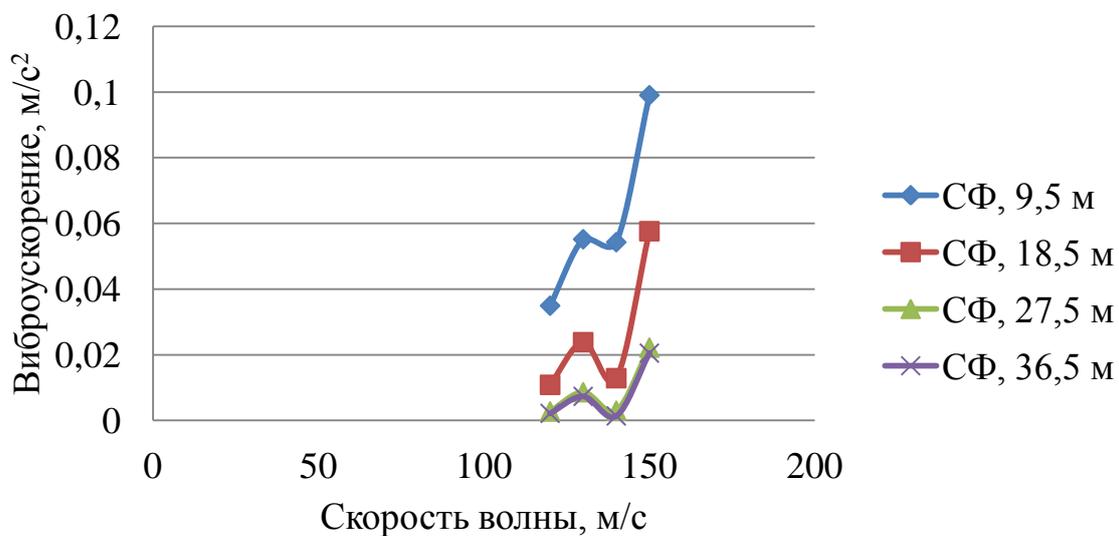


Рисунок Г.10 – Зависимость горизонтальной составляющей виброускорения свайного фундамента от типа грунта (скорости волны)

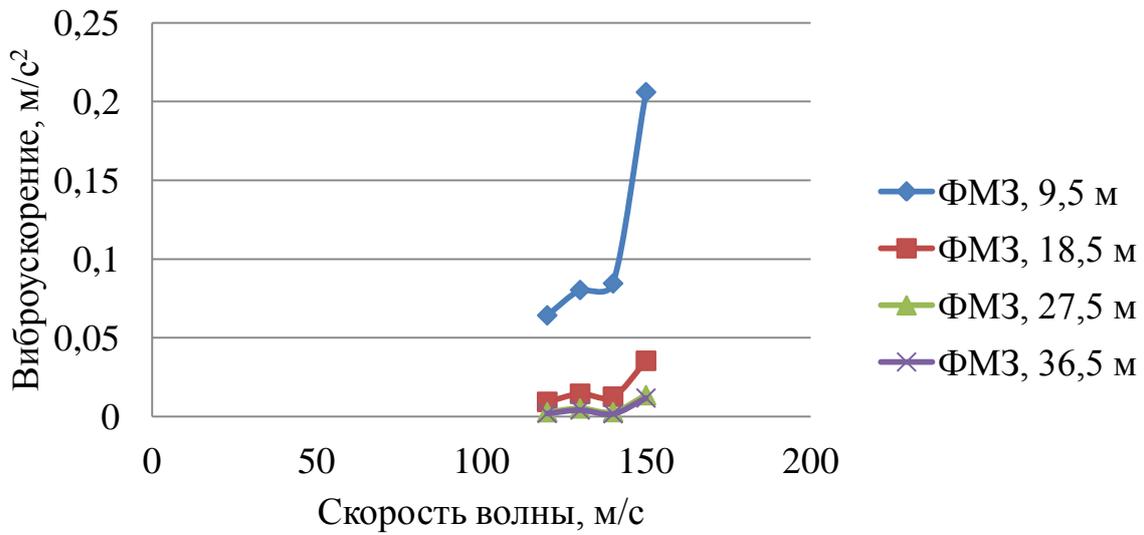


Рисунок Г.11 – Зависимость вертикальной составляющей виброускорения фундамента мелкого заложения от типа грунта (скорости волны)

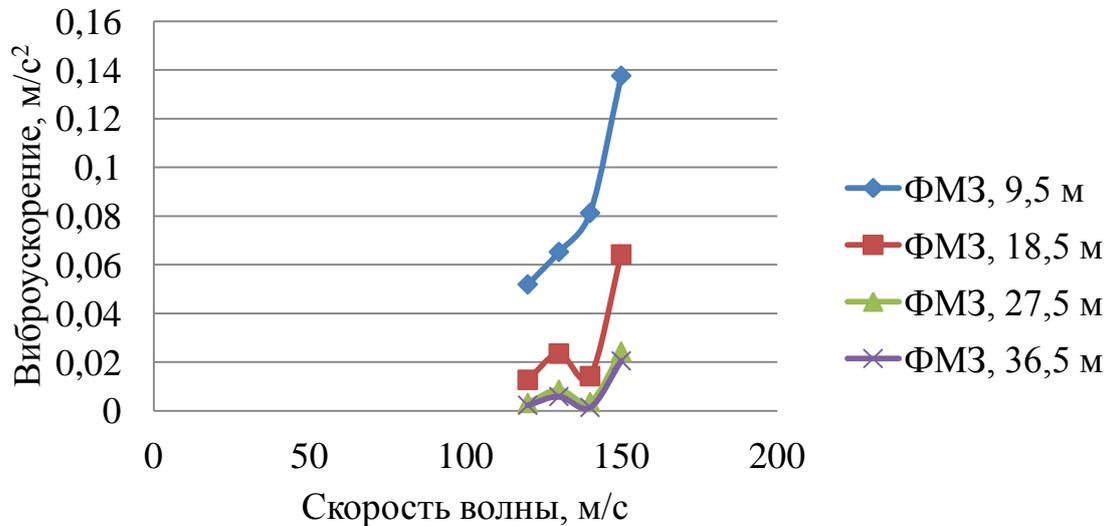


Рисунок Г.12 – Зависимость горизонтальной составляющей виброускорения фундамента мелкого заложения от типа грунта (скорости волны)

Приложение Д

Результаты расчета параметров исследуемых функций

Приложение Д Начало

Таблица Д.1 – Результаты расчета исследуемых функций для фундамента мелкого заложения,
вертикальная составляющая виброускорения

$x1*y$	$x2*y$	$x3*y$	$x1^2*y$	$x2^2*y$	$x3^2*y$	$x1*x2*y$	$x1*x3*y$	$x2*x3*y$
0,007539	0,007539	0,007539	0,007539	0,007539	0,007539	0,007539	0,007539	0,007539
0,015089	0,015089	0,030178	0,015089	0,015089	0,060357	0,015089	0,030178	0,030178
0,00966	0,00966	0,02898	0,00966	0,00966	0,086941	0,00966	0,02898	0,02898
0,025557	0,025557	0,102227	0,025557	0,025557	0,40891	0,025557	0,102227	0,102227
0,000612	0,001223	0,000612	0,000612	0,002447	0,000612	0,001223	0,000612	0,001223
0,001448	0,002897	0,002897	0,001448	0,005793	0,005793	0,002897	0,002897	0,005793
0,000778	0,001557	0,002335	0,000778	0,003113	0,007005	0,001557	0,002335	0,00467
0,002969	0,005938	0,011876	0,002969	0,011876	0,047502	0,005938	0,011876	0,023751
0,000129	0,000388	0,000129	0,000129	0,001164	0,000129	0,000388	0,000129	0,000388
0,000365	0,001094	0,000729	0,000365	0,003282	0,001459	0,001094	0,000729	0,002188
0,000146	0,000438	0,000438	0,000146	0,001315	0,001315	0,000438	0,000438	0,001315
0,000844	0,002531	0,003375	0,000844	0,007593	0,013498	0,002531	0,003375	0,010124
0,0000569	0,000228	0,0000569	0,0000569	0,000911	0,0000569	0,000228	0,0000569	0,000228
0,000165	0,000658	0,000329	0,000165	0,002632	0,000658	0,000658	0,000329	0,001316
0,0000551	0,00022	0,000165	0,0000551	0,000881	0,000496	0,00022	0,000165	0,000661
0,000354	0,001415	0,001415	0,000354	0,005658	0,005658	0,001415	0,001415	0,005658
0,121475	0,060737	0,060737	0,24295	0,060737	0,060737	0,121475	0,121475	0,060737

Приложение Д Продолжение

Продолжение таблицы Д.1

$x1*y$	$x2*y$	$x3*y$	$x1^2*y$	$x2^2*y$	$x3^2*y$	$x1*x2*y$	$x1*x3*y$	$x2*x3*y$
0,240316	0,120158	0,240316	0,480632	0,120158	0,480632	0,240316	0,480632	0,240316
0,15209	0,076045	0,228136	0,304181	0,076045	0,684407	0,15209	0,456271	0,228136
0,371704	0,185852	0,743407	0,743407	0,185852	2,973629	0,371704	1,486814	0,743407
0,016706	0,016706	0,008353	0,033411	0,033411	0,008353	0,033411	0,016706	0,016706
0,038151	0,038151	0,038151	0,076302	0,076302	0,076302	0,076302	0,076302	0,076302
0,022859	0,022859	0,034288	0,045717	0,045717	0,102864	0,045717	0,068576	0,068576
0,063424	0,063424	0,126847	0,126847	0,126847	0,507389	0,126847	0,253694	0,253694
0,004654	0,006981	0,002327	0,009308	0,020944	0,002327	0,013963	0,004654	0,006981
0,012466	0,0187	0,012466	0,024933	0,056099	0,024933	0,037399	0,024933	0,037399
0,004744	0,007116	0,007116	0,009488	0,021348	0,021348	0,014232	0,014232	0,021348
0,023769	0,035654	0,047539	0,047539	0,106963	0,190156	0,071308	0,095078	0,142617
0,003155	0,006309	0,001577	0,006309	0,025237	0,001577	0,012618	0,003155	0,006309
0,009343	0,018686	0,009343	0,018686	0,074744	0,018686	0,037372	0,018686	0,037372
0,003	0,006001	0,004501	0,006001	0,024004	0,013502	0,012002	0,009001	0,018003
0,019557	0,039114	0,039114	0,039114	0,156454	0,156454	0,078227	0,078227	0,156454
0,193307	0,064436	0,064436	0,57992	0,064436	0,064436	0,193307	0,193307	0,064436
0,17852	0,059507	0,119014	0,535561	0,059507	0,238027	0,17852	0,357041	0,119014
0,249389	0,08313	0,249389	0,748167	0,08313	0,748167	0,249389	0,748167	0,249389
0,621108	0,207036	0,828144	1,863324	0,207036	3,312576	0,621108	2,484432	0,828144

Приложение Д Продолжение

Продолжение таблицы Д.1

$x1*y$	$x2*y$	$x3*y$	$x1^2*y$	$x2^2*y$	$x3^2*y$	$x1*x2*y$	$x1*x3*y$	$x2*x3*y$
0,029781	0,019854	0,009927	0,089344	0,039708	0,009927	0,059563	0,029781	0,019854
0,034084	0,022723	0,022723	0,102253	0,045446	0,045446	0,068169	0,068169	0,045446
0,036801	0,024534	0,036801	0,110404	0,049068	0,110404	0,073603	0,110404	0,073603
0,116795	0,077863	0,155726	0,350384	0,155726	0,622906	0,23359	0,467179	0,311453
0,009127	0,009127	0,003042	0,027382	0,027382	0,003042	0,027382	0,009127	0,009127
0,014441	0,014441	0,009627	0,043322	0,043322	0,019254	0,043322	0,028881	0,028881
0,009374	0,009374	0,009374	0,028122	0,028122	0,028122	0,028122	0,028122	0,028122
0,046547	0,046547	0,062063	0,139642	0,139642	0,248253	0,139642	0,18619	0,18619
0,007697	0,010262	0,002566	0,023091	0,04105	0,002566	0,030787	0,007697	0,010262
0,01383	0,01844	0,00922	0,04149	0,073759	0,01844	0,055319	0,02766	0,03688
0,005493	0,007323	0,005493	0,016478	0,029294	0,016478	0,02197	0,016478	0,02197
0,047577	0,063436	0,063436	0,142731	0,253744	0,253744	0,190308	0,190308	0,253744
0,495552	0,123888	0,123888	1,982208	0,123888	0,123888	0,495552	0,495552	0,123888
0,504836	0,126209	0,252418	2,019346	0,126209	0,504836	0,504836	1,009673	0,252418
0,675596	0,168899	0,506697	2,702386	0,168899	1,520092	0,675596	2,026789	0,506697
1,620384	0,405096	1,620384	6,481536	0,405096	6,481536	1,620384	6,481536	1,620384
0,071625	0,035812	0,017906	0,286498	0,071625	0,017906	0,143249	0,071625	0,035812
0,101891	0,050945	0,050945	0,407563	0,101891	0,101891	0,203781	0,203781	0,101891
0,102078	0,051039	0,076559	0,408312	0,102078	0,229676	0,204156	0,306234	0,153117

Приложение Д Продолжение

Окончание таблицы Д.1

$x1*y$	$x2*y$	$x3*y$	$x1^2*y$	$x2^2*y$	$x3^2*y$	$x1*x2*y$	$x1*x3*y$	$x2*x3*y$
0,270001	0,135001	0,270001	1,080005	0,270001	1,080005	0,540002	1,080005	0,540002
0,020756	0,015567	0,005189	0,083022	0,0467	0,005189	0,062267	0,020756	0,015567
0,035112	0,026334	0,017556	0,140449	0,079003	0,035112	0,105337	0,070224	0,052668
0,021152	0,015864	0,015864	0,084606	0,047591	0,047591	0,063455	0,063455	0,047591
0,102339	0,076754	0,102339	0,409355	0,230262	0,409355	0,307016	0,409355	0,307016
0,013828	0,013828	0,003457	0,05531	0,05531	0,003457	0,05531	0,013828	0,013828
0,027525	0,027525	0,013763	0,110101	0,110101	0,027525	0,110101	0,055051	0,055051
0,013202	0,013202	0,009901	0,052807	0,052807	0,029704	0,052807	0,039605	0,039605
0,082466	0,082466	0,082466	0,329863	0,329863	0,329863	0,329863	0,329863	0,329863
b0=	0,034328							
b1=	0,108522		b11=	0,371181		b12=	0,143894	
b2=	0,045397		b22=	0,077767		b13=	0,328625	
b3=	0,103403		b33=	0,354072		b23=	0,137852	

Приложение Д Продолжение

Таблица Д.2 – Результаты расчета исследуемых функций для фундамента мелкого заложения,
горизонтальная составляющая виброускорения

$x1*y$	$x2*y$	$x3*y$	$x1^2*y$	$x2^2*y$	$x3^2*y$	$x1*x2*y$	$x1*x3*y$	$x2*x3*y$
0,004499	0,004499	0,004499	0,004499	0,004499	0,004499	0,004499	0,004499	0,004499
0,008777	0,008777	0,017555	0,008777	0,008777	0,035109	0,008777	0,017555	0,017555
0,006451	0,006451	0,019353	0,006451	0,006451	0,05806	0,006451	0,019353	0,019353
0,015056	0,015056	0,060223	0,015056	0,015056	0,240893	0,015056	0,060223	0,060223
0,002971	0,005942	0,002971	0,002971	0,011883	0,002971	0,005942	0,002971	0,005942
0,001639	0,003278	0,003278	0,001639	0,006556	0,006556	0,003278	0,003278	0,006556
0,000832	0,001664	0,002496	0,000832	0,003328	0,007488	0,001664	0,002496	0,004992
0,003493	0,006985	0,013971	0,003493	0,013971	0,055882	0,006985	0,013971	0,027941
0,00013	0,000389	0,00013	0,00013	0,001167	0,00013	0,000389	0,00013	0,000389
0,000413	0,001238	0,000826	0,000413	0,003715	0,001651	0,001238	0,000826	0,002477
0,000103	0,000309	0,000309	0,000103	0,000926	0,000926	0,000309	0,000309	0,000926
0,001345	0,004036	0,005382	0,001345	0,012109	0,021528	0,004036	0,005382	0,016146
0,000629	0,002518	0,000629	0,000629	0,010071	0,000629	0,002518	0,000629	0,002518
0,000236	0,000942	0,000471	0,000236	0,003769	0,000942	0,000942	0,000471	0,001884
0,0000437	0,000175	0,000131	0,0000437	0,000699	0,000393	0,000175	0,000131	0,000524
0,00058	0,002321	0,002321	0,00058	0,009283	0,009283	0,002321	0,002321	0,009283
0,098317	0,049159	0,049159	0,196634	0,049159	0,049159	0,098317	0,098317	0,049159

Приложение Д Продолжение

Продолжение таблицы Д.2

$x1*y$	$x2*y$	$x3*y$	$x1^2*y$	$x2^2*y$	$x3^2*y$	$x1*x2*y$	$x1*x3*y$	$x2*x3*y$
0,059072	0,029536	0,059072	0,118144	0,029536	0,118144	0,177217	0,354433	0,177217
0,157335	0,078668	0,236003	0,31467	0,078668	0,708008	0,157335	0,472005	0,236003
0,257074	0,128537	0,514147	0,514147	0,128537	2,056589	0,257074	1,028294	0,514147
0,021325	0,021325	0,010663	0,04265	0,04265	0,010663	0,04265	0,021325	0,021325
0,017207	0,017207	0,017207	0,034415	0,034415	0,034415	0,103244	0,103244	0,103244
0,024742	0,024742	0,037112	0,049483	0,049483	0,111337	0,049483	0,074225	0,074225
0,110988	0,110988	0,221976	0,221976	0,221976	0,887904	0,221976	0,443952	0,443952
0,005795	0,008693	0,002898	0,011591	0,026079	0,002898	0,017386	0,005795	0,008693
0,019166	0,028748	0,019166	0,038331	0,086245	0,038331	0,057497	0,038331	0,057497
0,006575	0,009862	0,009862	0,01315	0,029587	0,029587	0,019724	0,019724	0,029587
0,042477	0,063715	0,084953	0,084953	0,191145	0,339813	0,12743	0,169907	0,25486
0,003573	0,007146	0,001786	0,007146	0,028582	0,001786	0,014291	0,003573	0,007146
0,014024	0,028049	0,014024	0,028049	0,112195	0,028049	0,056098	0,028049	0,056098
0,002349	0,004698	0,003524	0,004698	0,018794	0,010571	0,009397	0,007048	0,014095
0,03418	0,06836	0,06836	0,06836	0,27344	0,27344	0,13672	0,13672	0,27344
0,138666	0,046222	0,046222	0,415997	0,046222	0,046222	0,138666	0,138666	0,046222
0,1314	0,0438	0,0876	0,3942	0,0438	0,1752	0,1314	0,2628	0,0876
0,214659	0,071553	0,214659	0,643977	0,071553	0,643977	0,214659	0,643977	0,214659
0,399794	0,133265	0,533058	1,199381	0,133265	2,132232	0,399794	1,599174	0,533058

Приложение Д Продолжение

Продолжение таблицы Д.2

$x1*y$	$x2*y$	$x3*y$	$x1^2*y$	$x2^2*y$	$x3^2*y$	$x1*x2*y$	$x1*x3*y$	$x2*x3*y$
0,042105	0,02807	0,014035	0,126316	0,05614	0,014035	0,08421	0,042105	0,02807
0,07064	0,047093	0,047093	0,211919	0,094186	0,094186	0,141279	0,141279	0,094186
0,0494	0,032933	0,0494	0,1482	0,065867	0,1482	0,0988	0,1482	0,0988
0,224914	0,149942	0,299885	0,674741	0,299885	1,199539	0,449827	0,899654	0,59977
0,010881	0,010881	0,003627	0,032644	0,032644	0,003627	0,032644	0,010881	0,010881
0,026137	0,026137	0,017424	0,07841	0,07841	0,034849	0,07841	0,052273	0,052273
0,011693	0,011693	0,011693	0,03508	0,03508	0,03508	0,03508	0,03508	0,03508
0,087784	0,087784	0,117045	0,263352	0,263352	0,46818	0,263352	0,351135	0,351135
0,008667	0,011556	0,002889	0,026	0,046222	0,002889	0,034667	0,008667	0,011556
0,019257	0,025676	0,012838	0,057772	0,102706	0,025676	0,077029	0,038515	0,051353
0,005624	0,007499	0,005624	0,016873	0,029996	0,016873	0,022497	0,016873	0,022497
0,083063	0,110751	0,110751	0,249189	0,443004	0,443004	0,332253	0,332253	0,443004
0,43166	0,107915	0,107915	1,726642	0,107915	0,107915	0,43166	0,43166	0,107915
0,479766	0,119942	0,239883	1,919064	0,119942	0,479766	0,479766	0,959532	0,239883
0,673688	0,168422	0,505266	2,694754	0,168422	1,515799	0,673688	2,021065	0,505266
1,094448	0,273612	1,094448	4,377792	0,273612	4,377792	1,094448	4,377792	1,094448
0,093248	0,046624	0,023312	0,372993	0,093248	0,023312	0,186497	0,093248	0,046624
0,172372	0,086186	0,086186	0,689486	0,172372	0,172372	0,344743	0,344743	0,172372
0,10946	0,05473	0,082095	0,43784	0,10946	0,246285	0,21892	0,32838	0,16419

Приложение Д Продолжение

Окончание таблицы Д.2

$x1*y$	$x2*y$	$x3*y$	$x1^2*y$	$x2^2*y$	$x3^2*y$	$x1*x2*y$	$x1*x3*y$	$x2*x3*y$
0,492109	0,246055	0,492109	1,968437	0,492109	1,968437	0,984218	1,968437	0,984218
0,025606	0,019205	0,006402	0,102424	0,057614	0,006402	0,076818	0,025606	0,019205
0,064011	0,048008	0,032005	0,256043	0,144024	0,064011	0,192032	0,128021	0,096016
0,028795	0,021596	0,021596	0,11518	0,064789	0,064789	0,086385	0,086385	0,064789
0,182372	0,136779	0,182372	0,72949	0,410338	0,72949	0,547117	0,72949	0,547117
0,015778	0,015778	0,003945	0,063113	0,063113	0,003945	0,063113	0,015778	0,015778
0,039668	0,039668	0,019834	0,158673	0,158673	0,039668	0,158673	0,079337	0,079337
0,010218	0,010218	0,007663	0,040871	0,040871	0,02299	0,040871	0,030653	0,030653
0,147148	0,147148	0,147148	0,58859	0,58859	0,58859	0,58859	0,58859	0,58859
b0=	0,032561							
b1=	0,101663		b11=	0,353297		b12=	0,161133	
b2=	0,048918		b22=	0,100315		b13=	0,31359	
b3=	0,095476		b33=	0,328796		b23=	0,155288	

Приложение Д Продолжение

Таблица Д.3 – Результаты расчета исследуемых функций для свайного фундамента,
вертикальная составляющая виброускорения

$x1*y$	$x2*y$	$x3*y$	$x1^2*y$	$x2^2*y$	$x3^2*y$	$x1*x2*y$	$x1*x3*y$	$x2*x3*y$
0,004213	0,004213	0,004213	0,004213	0,004213	0,004213	0,004213	0,004213	0,004213
0,008835	0,008835	0,017669	0,008835	0,008835	0,035339	0,008835	0,017669	0,017669
0,00546	0,00546	0,01638	0,00546	0,00546	0,04914	0,00546	0,01638	0,01638
0,015863	0,015863	0,063451	0,015863	0,015863	0,253805	0,015863	0,063451	0,063451
0,00043	0,000859	0,00043	0,00043	0,001718	0,00043	0,000859	0,00043	0,000859
0,001052	0,002104	0,002104	0,001052	0,004207	0,004207	0,002104	0,002104	0,004207
0,000537	0,001074	0,001611	0,000537	0,002148	0,004833	0,001074	0,001611	0,003222
0,002141	0,004281	0,008562	0,002141	0,008562	0,03425	0,004281	0,008562	0,017125
0,000941	0,002822	0,000941	0,000941	0,008467	0,000941	0,002822	0,000941	0,002822
0,000303	0,00091	0,000607	0,000303	0,002731	0,001214	0,00091	0,000607	0,00182
0,000117	0,00035	0,00035	0,000117	0,001051	0,001051	0,00035	0,00035	0,001051
0,00071	0,002129	0,002838	0,00071	0,006386	0,011353	0,002129	0,002838	0,008515
0,0000589	0,000236	0,0000589	0,0000589	0,000943	0,0000589	0,000236	0,0000589	0,000236
0,000172	0,00069	0,000345	0,000172	0,002758	0,00069	0,00069	0,000345	0,001379
0,0000572	0,000229	0,000172	0,0000572	0,000916	0,000515	0,000229	0,000172	0,000687
0,000373	0,001491	0,001491	0,000373	0,005963	0,005963	0,001491	0,001491	0,005963
0,083382	0,041691	0,041691	0,166764	0,041691	0,041691	0,083382	0,083382	0,041691

Приложение Д Продолжение

Продолжение таблицы Д.3

$x1*y$	$x2*y$	$x3*y$	$x1^2*y$	$x2^2*y$	$x3^2*y$	$x1*x2*y$	$x1*x3*y$	$x2*x3*y$
0,170144	0,085072	0,170144	0,340288	0,085072	0,340288	0,170144	0,340288	0,170144
0,107205	0,053603	0,160808	0,21441	0,053603	0,482423	0,107205	0,321615	0,160808
0,263404	0,131702	0,526807	0,526807	0,131702	2,107229	0,263404	1,053614	0,526807
0,012731	0,012731	0,006366	0,025462	0,025462	0,006366	0,025462	0,012731	0,012731
0,029316	0,029316	0,029316	0,058632	0,058632	0,058632	0,058632	0,058632	0,058632
0,015664	0,015664	0,023495	0,031327	0,031327	0,070486	0,031327	0,046991	0,046991
0,05006	0,05006	0,100119	0,100119	0,100119	0,400477	0,100119	0,200239	0,200239
0,003901	0,005852	0,001951	0,007803	0,017556	0,001951	0,011704	0,003901	0,005852
0,010244	0,015367	0,010244	0,020489	0,0461	0,020489	0,030733	0,020489	0,030733
0,004006	0,006009	0,006009	0,008013	0,018028	0,018028	0,012019	0,012019	0,018028
0,019947	0,02992	0,039894	0,039894	0,08976	0,159574	0,05984	0,079787	0,119681
0,128888	0,257777	0,064444	0,257777	1,031107	0,064444	0,515554	0,128888	0,257777
0,00991	0,019819	0,00991	0,019819	0,079278	0,019819	0,039639	0,019819	0,039639
0,003104	0,006208	0,004656	0,006208	0,024833	0,013969	0,012417	0,009312	0,018625
0,02036	0,040719	0,040719	0,040719	0,162876	0,162876	0,081438	0,081438	0,162876
0,083856	0,027952	0,027952	0,251569	0,027952	0,027952	0,083856	0,083856	0,027952
0,178501	0,0595	0,119	0,535502	0,0595	0,238001	0,178501	0,357001	0,119
0,249452	0,083151	0,249452	0,748356	0,083151	0,748356	0,249452	0,748356	0,249452
0,621136	0,207045	0,828181	1,863408	0,207045	3,312725	0,621136	2,484544	0,828181

Приложение Д Продолжение

Продолжение таблицы Д.3

$x1*y$	$x2*y$	$x3*y$	$x1^2*y$	$x2^2*y$	$x3^2*y$	$x1*x2*y$	$x1*x3*y$	$x2*x3*y$
0,029765	0,019843	0,009922	0,089294	0,039686	0,009922	0,05953	0,029765	0,019843
0,034049	0,022699	0,022699	0,102146	0,045398	0,045398	0,068097	0,068097	0,045398
0,036771	0,024514	0,036771	0,110312	0,049028	0,110312	0,073541	0,110312	0,073541
0,116751	0,077834	0,155668	0,350252	0,155668	0,62267	0,233501	0,467003	0,311335
0,008963	0,008963	0,002988	0,026888	0,026888	0,002988	0,026888	0,008963	0,008963
0,01442	0,01442	0,009613	0,04326	0,04326	0,019227	0,04326	0,02884	0,02884
0,009365	0,009365	0,009365	0,028096	0,028096	0,028096	0,028096	0,028096	0,028096
0,046514	0,046514	0,062018	0,139541	0,139541	0,248072	0,139541	0,186054	0,186054
0,007684	0,010245	0,002561	0,023052	0,040981	0,002561	0,030736	0,007684	0,010245
0,013793	0,018391	0,009195	0,041379	0,073562	0,018391	0,055172	0,027586	0,036781
0,007278	0,009703	0,007278	0,021833	0,038814	0,021833	0,02911	0,021833	0,02911
0,047509	0,063345	0,063345	0,142526	0,253379	0,253379	0,190034	0,190034	0,253379
0,351	0,08775	0,08775	1,404	0,08775	0,08775	0,351	0,351	0,08775
0,695863	0,173966	0,347932	2,783453	0,173966	0,695863	0,695863	1,391726	0,347932
0,475499	0,118875	0,356624	1,901995	0,118875	1,069872	0,475499	1,426496	0,356624
1,18287	0,295718	1,18287	4,73148	0,295718	4,73148	1,18287	4,73148	1,18287
0,053301	0,02665	0,013325	0,213204	0,053301	0,013325	0,106602	0,053301	0,02665
0,126119	0,063059	0,063059	0,504475	0,126119	0,126119	0,252238	0,252238	0,126119
0,069936	0,034968	0,052452	0,279745	0,069936	0,157357	0,139873	0,209809	0,104905

Приложение Д Продолжение

Окончание таблицы Д.3

$x1*y$	$x2*y$	$x3*y$	$x1^2*y$	$x2^2*y$	$x3^2*y$	$x1*x2*y$	$x1*x3*y$	$x2*x3*y$
0,203988	0,101994	0,203988	0,815952	0,203988	0,815952	0,407976	0,815952	0,407976
0,016936	0,012702	0,004234	0,067745	0,038107	0,004234	0,050809	0,016936	0,012702
0,045755	0,034316	0,022878	0,183021	0,102949	0,045755	0,137266	0,091511	0,068633
0,017032	0,012774	0,012774	0,068127	0,038322	0,038322	0,051096	0,051096	0,038322
0,087435	0,065576	0,087435	0,34974	0,196729	0,34974	0,262305	0,34974	0,262305
0,014198	0,014198	0,00355	0,056794	0,056794	0,00355	0,056794	0,014198	0,014198
0,04296	0,04296	0,02148	0,171841	0,171841	0,04296	0,171841	0,085921	0,085921
0,117888	0,117888	0,088416	0,471552	0,471552	0,265248	0,471552	0,353664	0,353664
0,086036	0,086036	0,086036	0,344145	0,344145	0,344145	0,344145	0,344145	0,344145
b0=	0,029782							
b1=	0,094784		b11=	0,324539		b12=	0,139418	
b2=	0,044468		b22=	0,092803		b13=	0,280963	
b3=	0,087634		b33=	0,294973		b23=	0,126527	

Приложение Д Продолжение

Таблица Д.4 – Результаты расчета исследуемых функций для свайного фундамента,
горизонтальная составляющая виброускорения

$x1*y$	$x2*y$	$x3*y$	$x1^2*y$	$x2^2*y$	$x3^2*y$	$x1*x2*y$	$x1*x3*y$	$x2*x3*y$
0,002321	0,002321	0,002321	0,002321	0,002321	0,002321	0,002321	0,002321	0,002321
0,004439	0,004439	0,008877	0,004439	0,004439	0,017754	0,004439	0,008877	0,008877
0,00348	0,00348	0,01044	0,00348	0,00348	0,03132	0,00348	0,01044	0,01044
0,007453	0,007453	0,029811	0,007453	0,007453	0,119245	0,007453	0,029811	0,029811
0,000395	0,000789	0,000395	0,000395	0,001579	0,000395	0,000789	0,000395	0,000789
0,001238	0,002476	0,002476	0,001238	0,004952	0,004952	0,002476	0,002476	0,004952
0,000681	0,001361	0,002042	0,000681	0,002722	0,006125	0,001361	0,002042	0,004083
0,002768	0,005535	0,01107	0,002768	0,01107	0,044282	0,005535	0,01107	0,022141
0,000103	0,00031	0,000103	0,000103	0,00093	0,000103	0,00031	0,000103	0,00031
0,000292	0,000875	0,000583	0,000292	0,002624	0,001166	0,000875	0,000583	0,001749
0,0000813	0,000244	0,000244	0,0000813	0,000732	0,000732	0,000244	0,000244	0,000732
0,001169	0,003508	0,004678	0,001169	0,010525	0,018712	0,003508	0,004678	0,014034
0,000062	0,000248	0,000062	0,000062	0,000992	0,000062	0,000248	0,000062	0,000248
0,000238	0,00095	0,000475	0,000238	0,003801	0,00095	0,00095	0,000475	0,001901
0,0000417	0,000167	0,000125	0,0000417	0,000668	0,000375	0,000167	0,000125	0,000501
0,000599	0,002394	0,002394	0,000599	0,009577	0,009577	0,002394	0,002394	0,009577
0,058271	0,029135	0,029135	0,116541	0,029135	0,029135	0,058271	0,058271	0,029135

Приложение Д Продолжение

Продолжение таблицы Д.4

$x1*y$	$x2*y$	$x3*y$	$x1^2*y$	$x2^2*y$	$x3^2*y$	$x1*x2*y$	$x1*x3*y$	$x2*x3*y$
0,108653	0,054326	0,108653	0,217306	0,054326	0,217306	0,108653	0,217306	0,108653
0,090958	0,045479	0,136437	0,181916	0,045479	0,409312	0,090958	0,272875	0,136437
0,167416	0,083708	0,334832	0,334832	0,083708	1,33933	0,167416	0,669665	0,334832
0,018068	0,018068	0,009034	0,036137	0,036137	0,009034	0,036137	0,018068	0,018068
0,044048	0,044048	0,044048	0,088097	0,088097	0,088097	0,088097	0,088097	0,088097
0,021248	0,021248	0,031871	0,042495	0,042495	0,095614	0,042495	0,063743	0,063743
0,096517	0,096517	0,193033	0,193033	0,193033	0,772133	0,193033	0,386066	0,386066
0,00455	0,006826	0,002275	0,009101	0,020477	0,002275	0,013651	0,00455	0,006826
0,01624	0,02436	0,01624	0,03248	0,07308	0,03248	0,04872	0,03248	0,04872
0,004996	0,007494	0,007494	0,009992	0,022482	0,022482	0,014988	0,014988	0,022482
0,036806	0,055209	0,073613	0,073613	0,165628	0,29445	0,110419	0,147225	0,220838
0,003609	0,007219	0,001805	0,007219	0,028875	0,001805	0,014437	0,003609	0,007219
0,014308	0,028616	0,014308	0,028616	0,114462	0,028616	0,057231	0,028616	0,057231
0,002333	0,004667	0,0035	0,004667	0,018668	0,010501	0,009334	0,007	0,014001
0,034849	0,069699	0,069699	0,069699	0,278794	0,278794	0,139397	0,139397	0,278794
0,136612	0,045537	0,045537	0,409836	0,045537	0,045537	0,136612	0,136612	0,045537
0,128994	0,042998	0,085996	0,386983	0,042998	0,171992	0,128994	0,257989	0,085996
0,212582	0,070861	0,212582	0,637745	0,070861	0,637745	0,212582	0,637745	0,212582
0,389963	0,129988	0,51995	1,169888	0,129988	2,079802	0,389963	1,559851	0,51995

Приложение Д Продолжение

Продолжение таблицы Д.4

$x1*y$	$x2*y$	$x3*y$	$x1^2*y$	$x2^2*y$	$x3^2*y$	$x1*x2*y$	$x1*x3*y$	$x2*x3*y$
0,042315	0,02821	0,014105	0,126945	0,05642	0,014105	0,08463	0,042315	0,02821
0,071095	0,047397	0,047397	0,213286	0,094794	0,094794	0,14219	0,14219	0,094794
0,049831	0,033221	0,049831	0,149492	0,066441	0,149492	0,099662	0,149492	0,099662
0,225597	0,150398	0,300796	0,67679	0,300796	1,203182	0,451193	0,902387	0,601591
0,010598	0,010598	0,003533	0,031793	0,031793	0,003533	0,031793	0,010598	0,010598
0,025589	0,025589	0,017059	0,076766	0,076766	0,034118	0,076766	0,051178	0,051178
0,011694	0,011694	0,011694	0,035083	0,035083	0,035083	0,035083	0,035083	0,035083
0,0863	0,0863	0,115066	0,258899	0,258899	0,460265	0,258899	0,345199	0,345199
0,008451	0,011268	0,002817	0,025352	0,045071	0,002817	0,033803	0,008451	0,011268
0,018733	0,024977	0,012489	0,056198	0,099908	0,024977	0,074931	0,037466	0,049954
0,005461	0,007281	0,005461	0,016382	0,029124	0,016382	0,021843	0,016382	0,021843
0,081464	0,108619	0,108619	0,244392	0,434475	0,434475	0,325856	0,325856	0,434475
0,250981	0,062745	0,062745	1,003925	0,062745	0,062745	0,250981	0,250981	0,062745
0,475658	0,118915	0,237829	1,902634	0,118915	0,475658	0,475658	0,951317	0,237829
0,389128	0,097282	0,291846	1,55651	0,097282	0,875537	0,389128	1,167383	0,291846
0,699485	0,174871	0,699485	2,797939	0,174871	2,797939	0,699485	2,797939	0,699485
0,079416	0,039708	0,019854	0,317663	0,079416	0,019854	0,158832	0,079416	0,039708
0,193279	0,09664	0,09664	0,773117	0,193279	0,193279	0,386558	0,386558	0,193279
0,0943	0,04715	0,070725	0,377201	0,0943	0,212175	0,1886	0,282901	0,14145

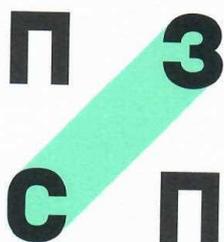
Приложение Д Окончание

Окончание таблицы Д.4

$x1*y$	$x2*y$	$x3*y$	$x1^2*y$	$x2^2*y$	$x3^2*y$	$x1*x2*y$	$x1*x3*y$	$x2*x3*y$
0,416942	0,208471	0,416942	1,66777	0,416942	1,66777	0,833885	1,66777	0,833885
0,020249	0,015187	0,005062	0,080995	0,04556	0,005062	0,060746	0,020249	0,015187
0,069786	0,05234	0,034893	0,279145	0,157019	0,069786	0,209359	0,139572	0,104679
0,021824	0,016368	0,016368	0,087296	0,049104	0,049104	0,065472	0,065472	0,049104
0,161423	0,121067	0,161423	0,645691	0,363201	0,645691	0,484268	0,645691	0,484268
0,015769	0,015769	0,003942	0,063074	0,063074	0,003942	0,063074	0,015769	0,015769
0,062706	0,062706	0,031353	0,250824	0,250824	0,062706	0,250824	0,125412	0,125412
0,010058	0,010058	0,007543	0,040231	0,040231	0,02263	0,040231	0,030174	0,030174
0,147388	0,147388	0,147388	0,58955	0,58955	0,58955	0,58955	0,58955	0,58955
b0=	0,026026							
b1=	0,08378		b11=	0,28782		b12=	0,138769	
b2=	0,043043		b22=	0,093406		b13=	0,251609	
b3=	0,078266		b33=	0,266424		b23=	0,132748	

Приложение Е

Справка о внедрении результатов научно-исследовательской работы



АО «ПЗСП»
Россия, 614031, город Пермь,
улица Докучаева, дом 31
т. +7 (342) 270-11-77
ф. +7 (342) 270-11-77

ИНН 5903004541, КПП 590150001
ОГРН 1025900760852
Р/счет № 40702810849490141779

ПАО «Сбербанк»
К/счет № 30101810900000000603
БИК 045773603

№ 231/02 от 27.02.2018

на № _____ от _____

Ректору ФГБОУ ВО ИИИИУ
доктору физико-математических наук,
профессору Ташкинову А.А.

СПРАВКА О ВНЕДРЕНИИ

результатов научно-исследовательской работы

Настоящей справкой подтверждается, что результаты НИР по исследованию вибрационного воздействия автотранспорта на основания и конструкции фундаментов жилых зданий, выполненной старшим преподавателем кафедры «Строительное производство и геотехника» Пермского национального исследовательского политехнического университета Шутовой О.А. (научный руководитель д.т.н., проф. Пономарев А.Б.) в 2008-2018 гг., использовались при проектировании, подготовке проектов производства работ по подземной части зданий и сооружений, при строительстве в условиях плотной городской застройки в г. Перми.

Исполнительный директор

С.Н.Демкин

Черепанов Александр Юрьевич
+7 (342) 270-11-77 (доб. 398)

demkin@pzsp.ru
www.pzsp.ru