

**Администрация Ростовской области
Министерство общего и профессионального образования Ростовской области
Государственное образовательное учреждение рег.№503-РП,
Донской государственный технический университет (ДГТУ)**

№ регистр.

Инв.№

СОГЛАСОВАНО

Заместитель Главы Администрации
(Губернатора) Ростовской области

_____ А.И. Бедрик

«__» _____ 2003 г.

М.П.

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель организации-исполнителя
Ректор Донского государственного
технического университета (ДГТУ)

_____ А.А. Рыжкин

«__» _____ 2003 г.

М.П.

**ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ**

**«Мониторинг частей зданий реконструируемого жилого фонда с ограниченным
сроком службы и аппаратурное обеспечение для технической диагностики и
неразрушающего контроля»
(заключительный за 2003 г.)**

Руководитель подразделения исполнителя
Зав. кафедрой «Авиастроение» ДГТУ

Б.Н. Слюсарь

Руководитель проекта

С.Н. Шевцов

Ростов-на-Дону
2003 г.

АННОТАЦИЯ

В результате проведенных исследований определен уровень вибрационного воздействия на основания жилых строений, расположенных на транспортных магистралях города; выполнен теоретический и экспериментальный анализ напряженно-деформированного состояния модельной плиты из железобетона, получены резонансные частоты различных мод колебаний (изгибных и крутильных) плиты; разработан стенд (нагружающий модуль комплекса) для натурных испытаний модели балконной плиты; разработан проект методики диагностики предразрушающего состояния плит типа балконных; разработано техническое описание нагружающего и измерительного модулей комплекса.

Испытания моделей плит осуществлялись на спроектированном и изготовленном стенде: при статическом нагружении до 500 кг; при динамическом нагружении с частотой 0-100 Гц, в том числе при дополнительной статической нагрузке плиты до 100 кг с использованием акустооптоволоконных и акустоэмиссионных датчиков.

В работе использованы оригинальные технические решения авторов, приоритет которых подтвержден патентами РФ №2196301 и №1758420. Использованные методы и подходы, представленные в виде научного доклада «Анализ акустооптоволоконных методов диагностики конструкций», обсуждены на 3-й Всероссийской конференции по теории упругости в октябре 2003 г. в Ростове н/Д, Азове. Основные результаты работы обобщены в статье соавторов проекта «Исследование процессов трещинообразования и разрушения при динамическом нагружении балконных плит», принятой к опубликованию в октябре 2003 г. журналом «Дефектоскопия».

Разработанные методики, оборудование и рекомендации могут быть использованы для диагностики технического состояния элементов строительных и иных несущих конструкций, находящихся в нестационарных условиях, а также в виде материального и методического обеспечения лабораторных занятий по дисциплинам «Прочность конструкций», «Строительная механика» при подготовке студентов специальностей «Механика», «Динамика и прочность машин» и др. в РГУ, ДГТУ, РГСУ.

В работе над проектом приняли участие специалисты ДГТУ, НИИМ и ПМ, РГУ при содействии Центральной заводской лаборатории ОАО «Роствертол».

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

От Донского государственного технического университета:

1. Шевцов С.Н., д.т.н., проф. каф. «Авиастроение»
2. Тишина А.В., к.т.н., доц. каф. «Станки»
3. Чинчян Л.В., ст. преп. каф. «Авиастроение»
зам.нач. ЦЗЛ ОАО «Роствертол»

От НИИ механики и прикладной математики им. акад. И.И.Воровича, отдел «Физики прочности и механики разрушения»:

1. Акопьян В.А., в.н.с.
2. Рожков Е.В., с.н.с.
3. Зацаринный А.П., старший инженер

От Ростовского государственного университета:

1. Соловьев А.Н., к.ф.-м.н., доц., в.н.с. каф.
«Математическое моделирование»

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	5
1.	Исследование уровня вибраций жилых зданий на наиболее напряженных транспортных магистралях г. Ростова-на-Дону	6
2.	Анализ напряженно-деформированного состояния выступающего элемента строительной конструкции	13
3.	Программа исследований процесса трещинообразования модели балконной плиты и испытаний ее на прочность	33
3.1.	Описание натурной модели балконной плиты	
3.2.	Программа исследований процесса трещинообразования	
4.	Разработка измерительно-вычислительного комплекса и конструкции нагружающего модуля	34
4.1.	Краткое описание измерительно-вычислительного комплекса	35
4.2.	Конструкция нагружающего модуля комплекса	37
5.	Результаты натурных испытаний модели плиты и методика технической диагностики элементов выступающих частей зданий	38
5.1.	Результаты натурных испытаний модели балконной плиты	38
5.2.	Особенности акустооптоволоконной методики технической диагностики элементов строительных конструкций	45
5.3.	Методика технической диагностики балконных плит	46
	Заключение	48
	Список использованных источников	49

ВВЕДЕНИЕ

Естественные процессы старения жилых домов города в совокупности с повышением интенсивности дорожного движения и вследствие этого – усилением воздействия на основания зданий в ряде случаев могут приводить к обрушению выступающих элементов строительных конструкций. Целью выполнения проекта была разработка методики определения технического состояния зданий, эксплуатируемых в нестационарных условиях, и аппаратное обеспечение для диагностики и неразрушающего контроля. Проект, имеющий межвузовский характер, выполнен авторским коллективом, включающим специалистов кафедры «Авиастроение» ДГТУ, НИИ механики и прикладной математики им. акад. И.И.Воровича, кафедры «Математическое моделирование» РГУ.

Выполненная работа позволила определить количественные характеристики воздействия движущихся потоков транспорта на основания прилегающих зданий и, тем самым, установить параметры кинематического возбуждения выступающих элементов строительных конструкций. Компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния этих элементов выявило собственные частоты, моды колебаний, распределение напряжений и деформаций при сейсмическом воздействии с измеренными ранее параметрами на основания зданий.

Натурные эксперименты с моделью железобетонной плиты и специально созданным в отделе «Физики прочности и механики разрушения» НИИМ и ПМ информационно-измерительным комплексом позволили разработать методику акустооптоволоконной диагностики предразрушающего состояния железобетонных элементов строительных конструкций. Предлагаемая методика может использоваться в практике строительных и коммунальных служб города при их оснащении мобильными измерительными комплексами на базе портативной вычислительной техники. Результаты разработки требуют для своего практического использования привлечения специалистов заинтересованных организаций.

Экспериментами с натурными конструкциями показано, что комбинированная диагностика сигналов акустоэмиссионных и оптоволоконных датчиков позволяет с наивысшей степенью надежности идентифицировать и локализовать предразрушающее состояние элемента конструкции.

Результаты проекта нашли применение в учебном процессе ВУЗов соисполнителей в форме лабораторного оборудования, специализированного программного и учебно-методического обеспечения. Актуальность и межотраслевой характер темы проекта требует внедрения результатов разработки на предприятиях строительной индустрии, коммунального хозяйства, общего и специального машиностроения.

1. Исследование уровня вибраций жилых зданий на наиболее напряженных транспортных магистралях г. Ростова-на-Дону

В последние годы в г. Ростове-на-Дону наблюдаются три устойчивые тенденции:

1. Значительно возросла интенсивность транспортных потоков, в том числе, по улицам с преобладанием зданий, построенных более 50 лет назад.

2. Повышенная нагрузка со стороны движущегося автотранспорта, низкое качество дорожных работ и отсутствие регулярного надзора за состоянием дорожного полотна приводят к нарушениям его сплошности, что вызывает дополнительное увеличение динамических нагрузок на дорожное полотно и катастрофическое образование ям, ухаб и т.п.

3. Неуклонное старение жилого фонда довоенной и более ранней постройки способствует возникновению усталостных и иных повреждений в несущих конструкциях старых зданий, что в условиях меняющейся структуры и переподчинения коммунальных служб города может приводить к явлениям обрушения портиков, балконов и других выступающих частей.

Авторы не имеют достаточно возможностей и полномочий, чтобы собрать и привести обоснованные количественные данные, характеризующие три перечисленные тенденции, однако все они, по-видимому, будут нарастать и в ближайшие годы, ухудшая облик города, условия для его жителей и создавая дополнительные источники опасности их жизни. Естественно, первые две отмеченные тенденции значительно усугубляют третью, т.е. повышение интенсивности транспортных потоков по дорогам с непрерывно и необратимо ухудшающимся состоянием резко повышает уровень динамического воздействия на подстилающий грунт, фундаменты, стены и в целом конструкции жилых зданий.

Будучи коренными ростовскими жителями и хорошо зная свой город, авторы проекта, руководствуясь собственным опытом и информацией, полученной из достоверных источников, провели обследование уровня вибраций оснований зданий на нескольких наиболее загруженных городских магистралях. Перечень обследованных улиц приведен в таблице 1. Обобщение результатов обследования показало, что в характере всех полученных диаграмм распределения уровней вибрации по октавным диапазонам частот нет существенных различий, поэтому в отчете приведены наиболее типичные и представительные графики для улиц Нансена и Станиславского, проспекта Богатынского. Все измерения производились в сентябре – октябре 2003 года в непосредственной близости от участков дороги с типичным состоянием, т.е. без явно выраженных ухаб и разрывов асфальтового покрытия. Скорость автотранспортных средств, вызывающих измеренную вибрацию, также была типичной, зависящей от состояния дороги: на асфальте 50-60 км/час, на брусчатке около 30 км/час. Скорость

железнодорожного транспорта не фиксировалась, т.к. она подчинялась установленному регламенту движения на обследованном участке.

Таблица 1

Зоны обследования уровней вибрации фундаментов жилых зданий на транспортных магистралях г. Ростова-на-Дону

Улица, проспект	От	До	
I группа (автотранспорт)			
Садовая	Островского	Театральный	
Октября	Ленина	Нариманова	
Налбандяна	13 линия	45 линия	
II группа (автотранспорт, движущийся на подъем и спуск)			
Богатыновский	Седова	Шаумяна	
III группа (автотранспорт и трамвай)			
Станиславского	Газетный	Театральный	
Горького	Халтуринский	Театральный	
IV группа (автотранспорт и железнодорожный транспорт)			
Нансена	Переезд	Мебельный	

В зависимости от особенностей строения замерялся уровень виброускорения при жесткой установке датчика – пьезоэлектрического виброакселерометра ДН-3М1 (ТУ 25-7705.0019-88) на фундаменте, цоколе или нижних рядах кирпичной кладки. При наличии монолитных металлических частей (заделка перил и т.п.), связанных с основанием строения, датчик прикреплялся с помощью магнита.

Измерения регистрировались переносным виброизмерителем I класса точности ВШВ-003-М2 в октавных диапазонах (Гц): 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 125. Согласно прилагаемой документации приведенные цифры представляют собой середины частотных диапазонов – полос пропускания октавных фильтров. На больших частотах измеренные уровни вибрации значительно меньше и, по-видимому, не оказывают существенного влияния на расположенные рядом сооружения. Наиболее интересным параметром регистрируемой вибрации было виброускорение, ответственное за создание инерционных сил в конструкции зданий. При измерении виброускорения прибор ВШВ-003-М2 не производит интегрирования снимаемого с датчика сигнала, поэтому даже толчки с характерной частотой около 1 Гц могли быть

надежно зарегистрированы. Уровень вибрации, регистрируемый прибором в децибелах, согласно ГОСТ 12.2.016-91 связан с величиной виброускорения соотношением:

$$L_w = 20 \lg \frac{w \cdot \text{м/с}^2}{1 \cdot 10^{-6}}, \quad (1.1)$$

где w - среднеквадратичное значение виброускорения, а $1 \cdot 10^{-6}$ опорное значение виброускорения, м/с^2 . При расчете виброускорения, измеренного датчиком ДН-3М1, учитывалась поправка 40 дБ к показаниям прибора. Отсюда величина виброускорения вычислялась по формуле

$$w = 1 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{\frac{L_w}{20}} \text{ м/с}^2. \quad (1.2)$$

Каждое измерение (одинаковые вид транспорта, скорость, октавный диапазон) повторялось необходимое число до получения выборки из трех однородных замеров. Если в выборке встречалось значение, существенно отклоняющееся вверх, измерения повторялись десятикратно для исключения возможно ошибочной гипотезы о выбросе вверх. При измерении уровня вибраций от железнодорожного транспорта измерение принималось, если наблюдаемое показание удерживалось в течение не менее 5 секунд.

Ниже приведены таблицы и графики измерения уровней вибрации на улицах Нансена, Станиславского и проспекте Богатыновский. Этот выбор был продиктован тем обстоятельством, что приводимые графики охватывают все ситуации, приводимые в таблице 1. А именно, они демонстрируют степень воздействия на строительные конструкции, автомобильного (легкового и грузового, движущегося по горизонтальному пути и на подъеме - спуске), железнодорожного транспорта и трамвая. На графиках приведены октавные уровни вибраций и виброускорения, создаваемые каждым видом транспортных средств, а также октавные общие максимальные уровни, полученные в результате определения максимального уровня в каждой октавной полосе от любых транспортных средств. Максимальные уровни характеризуют величину наиболее опасных виброускорений, испытываемых сооружениями.

Результаты измерений показывают, что наиболее интенсивны вибрации оснований на частотах от единиц до ста Гц. Исследования влияния неровностей дорожного покрытия специально не проводились, однако из опыта проведения измерений можно сделать качественный вывод о том, что неровности глубиной более 5 см могут в два и более раз увеличивать уровень виброускорений на частотах до 10 Гц. Аналогичный вывод можно сделать относительно неровностей и стыков рельсового пути. Так, проседания шпал и прогиб рельсового пути в районе Станиславского – Богатыновский приводят к увеличению амплитуды колебаний оснований прилегающих зданий в 4 раза (октавная частота 4 Гц) по сравнению с бездефектными участками.

Результаты замеров уровней вибрации (в DB) фундаментов жилых домов на напряженных транспортных магистралях города

Использованные диапазоны виброизмерителя ВШВ-003-М2, Гц $\text{range} := (1 \ 2 \ 4 \ 8 \ 16 \ 31.5 \ 63 \ 125)$

Измерения на улице Нансена

Легковые автомобили - расстояние от жилого дома до источника - 10 м, скорость около 50 км/час	$\text{CarDB} := (68 \ 76 \ 78 \ 88 \ 88 \ 68 \ 60 \ 61)$
Грузовые автомобили расстояние от жилого дома до источника - 10 м, скорость около 50 км/час	$\text{LorryDB} := (82 \ 90 \ 88 \ 90 \ 90 \ 72 \ 74 \ 74)$
Грузовой поезд - расстояние от жилого дома до источника - 25 м, скорость около 40 км/час	$\text{Train1DB} := (88 \ 90 \ 92 \ 86 \ 84 \ 68 \ 60 \ 56)$
Пассажирский поезд - расстояние от жилого дома до источника - 25 м, скорость около 60 км/час	$\text{Train2DB} := (86 \ 85 \ 88 \ 82 \ 82 \ 74 \ 66 \ 64)$
Электропоезд - расстояние от жилого дома до источника - 25 м, скорость около 60 км/час	$\text{Train3DB} := (82 \ 82 \ 84 \ 86 \ 84 \ 78 \ 76 \ 76)$

Измерения на улице Станиславского (брусчатка)

Легковые автомобили - расстояние от жилого дома до источника - 6 м, скорость около 30 км/час	$\text{CarDB} := (70 \ 76 \ 78 \ 84 \ 86 \ 66 \ 64 \ 62)$
Грузовые автомобили расстояние от жилого дома до источника - 6 м, скорость около 30 км/час	$\text{LorryDB} := (82 \ 88 \ 88 \ 90 \ 90 \ 86 \ 80 \ 92)$
Трамвай - расстояние от жилого дома до источника - 8 м, скорость около 40 км/час	$\text{TramDB} := (80 \ 78 \ 80 \ 82 \ 92 \ 98 \ 88 \ 78)$

Измерения на подъеме - спуске проспекта Богатыновский (асфальтовое покрытие)

Грузовые автомобили расстояние от жилого дома до источника - 6 м, скорость около 20 км/час	$\text{LorryDB} := (88 \ 94 \ 92 \ 96 \ 93 \ 90 \ 90 \ 92)$
--	---

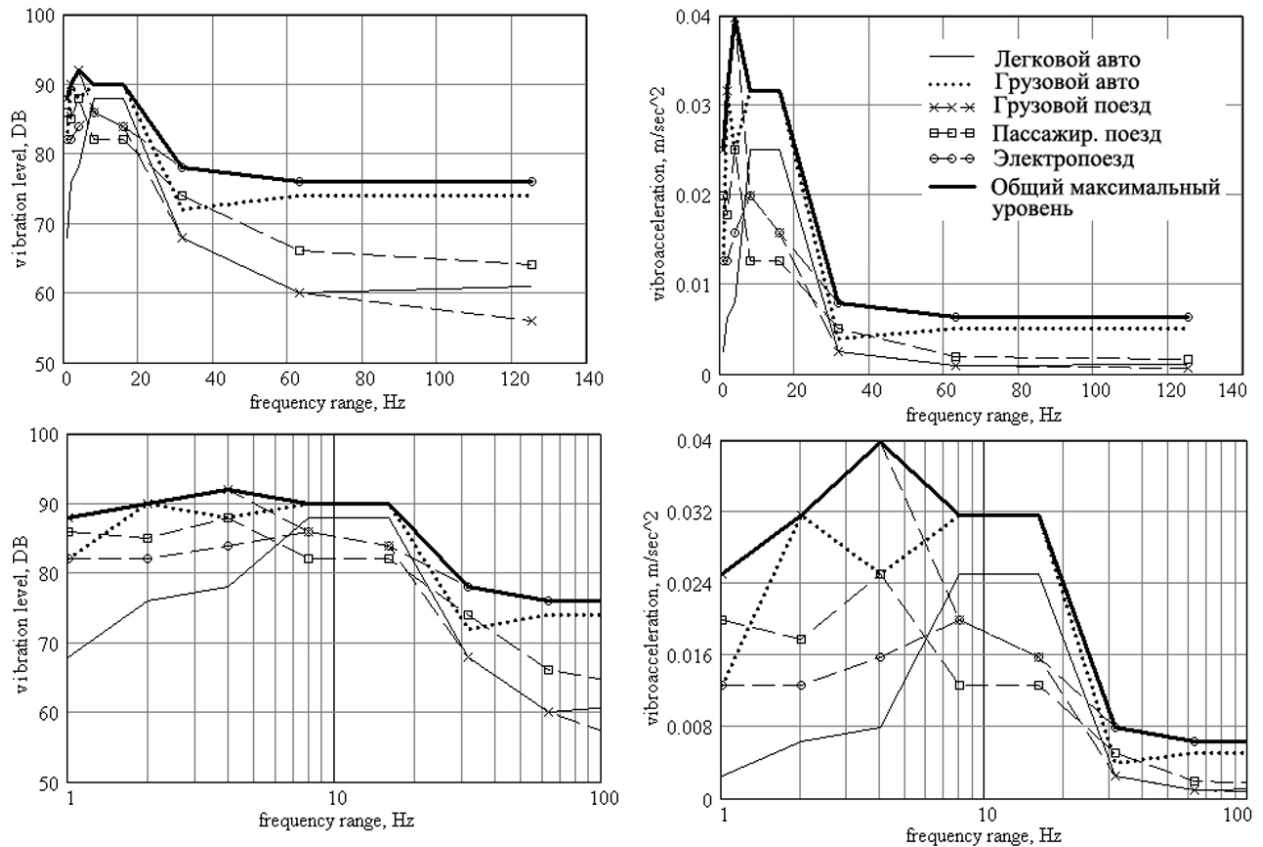


Рис.1.1. Результаты замеров уровней вибрации (слева) и среднеквадратичного виброускорения (справа) фундаментов строений от воздействия проходящего транспорта на улице Нансена (между пр. Буденовский и Ворошиловский).

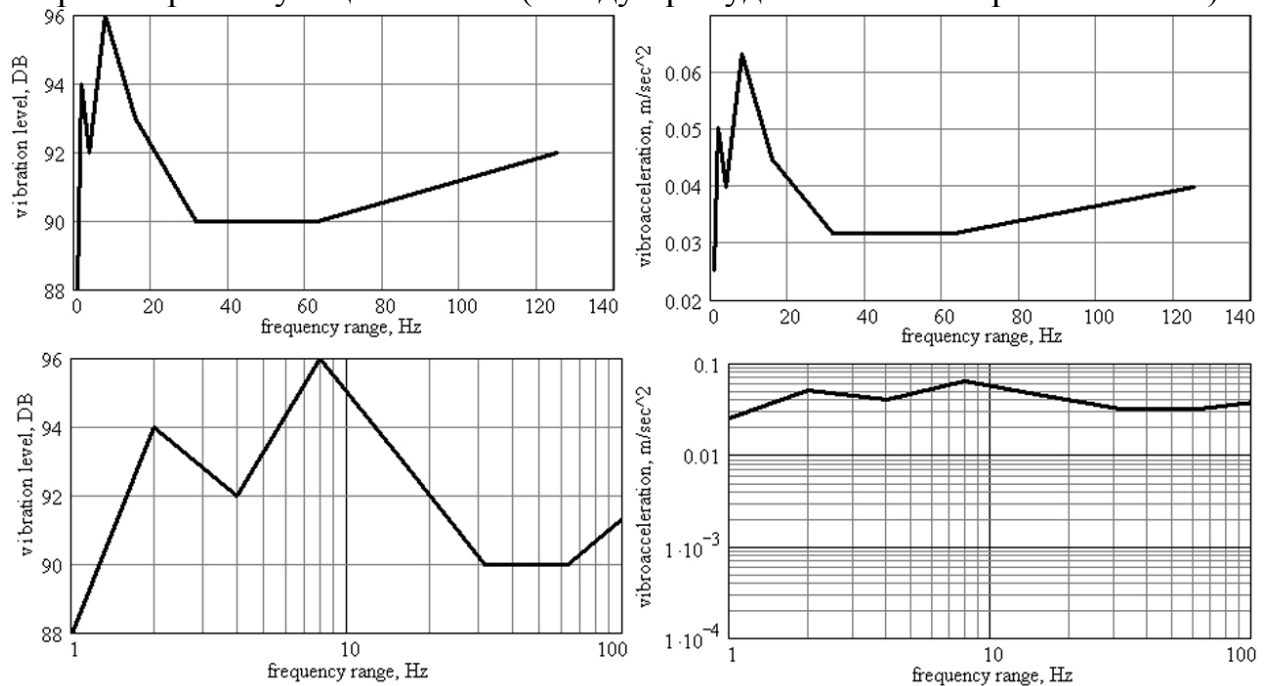


Рис.1.2. Результаты замеров уровней вибрации (слева) и среднеквадратичного виброускорения (справа) фундаментов строений от воздействия проходящего грузового автотранспорта на проспекте Богатыновском (спуск к ул. Седова).

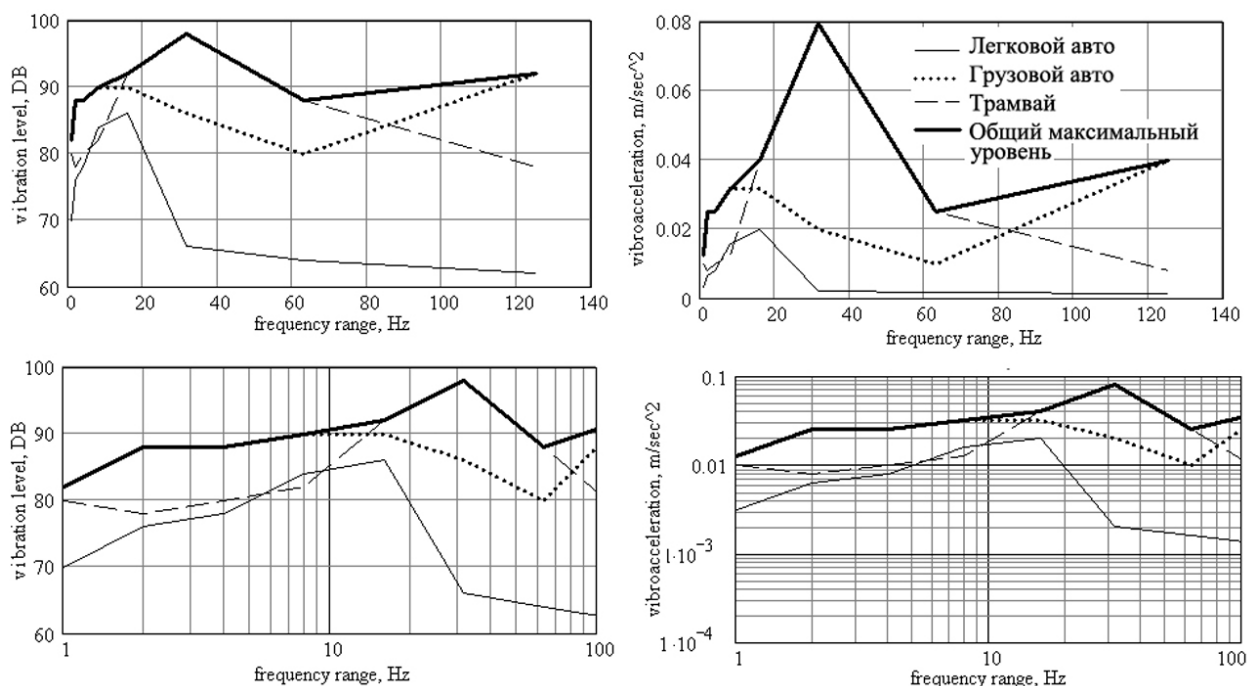


Рис.1.3. Результаты замеров уровней вибрации (слева) и среднеквадратичного виброускорения (справа) фундаментов строений от воздействия проходящего транспорта на улице Станиславского (между пер. Соборный и пр. Ворошиловский).

Полученные результаты с помощью соотношений

$$w = A \cdot \omega^2 \Rightarrow A = \frac{w}{4\pi^2 f^2}, \quad (2.3)$$

где f – минимальная частота октавного диапазона, позволили дать оценочную характеристику амплитуды A вертикальных колебаний. На рис. 1.4 приведены диапазоны изменения амплитуды колебаний в октавных диапазонах частот, возбуждаемых проходящим транспортом. Значения амплитуд вибрации внутри диапазонов соответствуют максимальным уровням вибраций, измеренным на исследованных улицах города. Эти результаты использовались далее при теоретическом и экспериментальном исследовании напряженно-деформированного состояния в численной и натурной модели балконной плиты.

В заключение раздела необходимо отметить, что полученные результаты, наиболее информативно представленные на рис. 1.4, показывают, что здания, находящиеся в непосредственной близости от напряженных транспортных магистралей, испытывают вибрационное воздействие, соответствующее толчкам в сейсмически опасных районах.

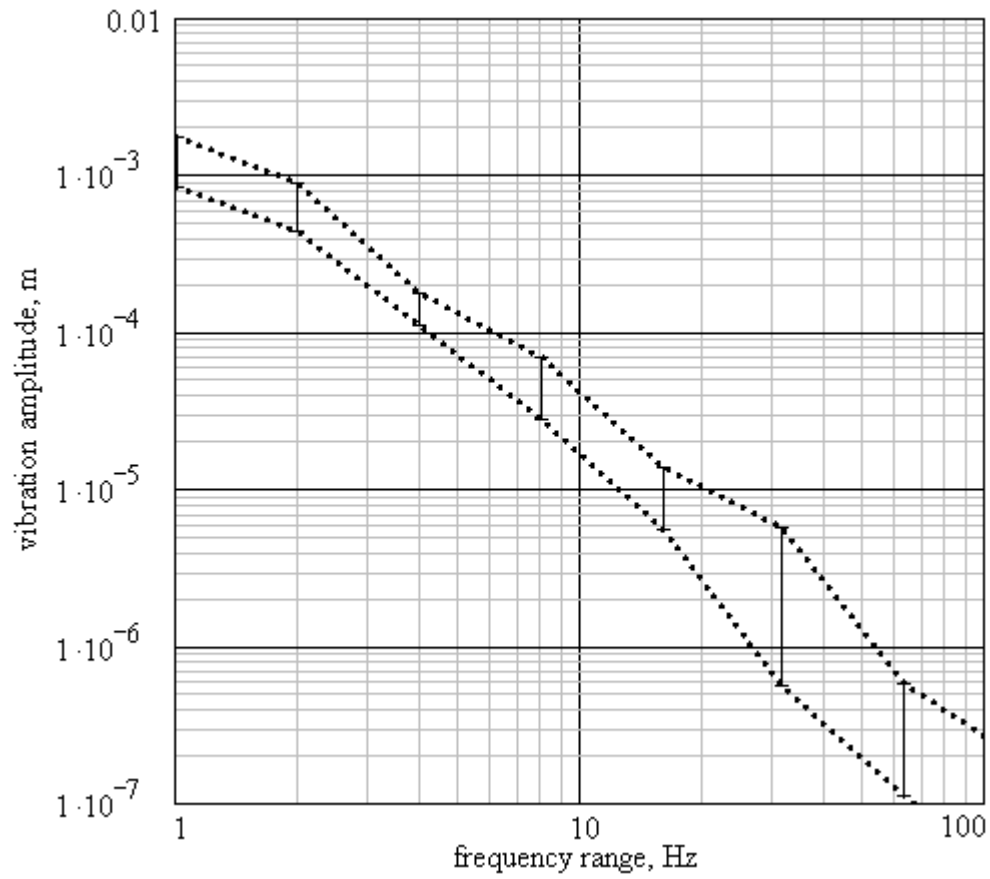


Рис.1.4. Распределение по октавным частотам амплитуд колебаний оснований зданий, расположенных вблизи напряженных транспортных магистралей г. Ростова-на-Дону