

ФЁДОРОВ В.С.¹, ЛАЗУТКИН Ю.В.¹, КУПЧИКОВА Н.В.^{1,2}¹ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», Москва, Россия²ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», Москва, Россия

ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ КОМПЛЕКСНОСТИ СОЧЕТАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ОТ НАЗЕМНОГО И ПОДЗЕМНОГО ТРАНСПОРТА

Аннотация. В статье представлено планирование и разработка программы по проведению натурных исследований влияния вибрации на здания и сооружения, возникающие от комплекса динамических воздействий наземного и подземного городского транспорта. Рассмотрена действующая нормативно-правовая база в области транспортной вибрации, проанализированы имеющиеся в практике результаты влияния вибрации от каждого источника воздействия по отдельности (трамвай, автобус, метро) и с комплексным воздействием вибрации (одновременно) от трех видов транспорта. Выявлена закономерность при анализе комплекса динамических воздействий для прогнозирования будущих событий в части раскрытия трещин зданий, находящихся в непосредственной близости к источникам техногенного воздействия. Источниками вибрационного воздействия являются вагоны метро, трамваи и автобусы, расположенные в непосредственной близости от зданий. Для замеров вибрации подобрано специализированное оборудование: анализатор шума и вибрации, регистратор и вибротест. Для выбора натурной площадки и проведения эксперимента проведен анализ загруженности транспортных магистралей наземного и подземного транспорта в Москве. Выбраны три наиболее загруженные территории для одновременного замера вибрации от метро, трамвая и автотранспорта по улицам Краснопрудная, Павелецкая и Бауманская.

Ключевые слова: транспортная вибрация, виды транспорта, метро, трамваи, автотранспорт, план проведения эксперимента, средства механизации, подбор оборудования, трещины в строительных конструкциях.

FEDOROV V.S.¹, LAZUTKIN Yu.V.¹, KUPCHIKOVA N.V.^{1,2}¹Russian University of Transport, Moscow, Russia²National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

PLANNING AN EVALUATION EXPERIMENT EFFECTS OF THE COMPLEXITY OF THE COMBINATION OF DYNAMIC IMPACTS FROM SURFACE AND UNDERGROUND TRANSPORT

Abstract. This article outlines the planning and development of a program for conducting field studies to investigate the impact of vibration on buildings and structures caused by the combined dynamic loads from surface and underground urban transport systems. The existing regulatory framework concerning transportation-induced vibration is reviewed. The paper analyzes available practical data on the vibrational impact from individual sources (tram, bus, metro) as well as the combined effect of simultaneous vibration from all three transport types. An identified correlation from the analysis of the complex dynamic loads allows for predicting future events related to crack propagation in buildings located in immediate proximity to the sources of man-made impact. The sources of vibrational impact are metro trains, trams, and buses operating in close vicinity to the structures. Specialized equipment was selected for vibration measurements: a noise and vibration analyzer, a data recorder, and a vibration test system. To select the field site and conduct the experiment, an analysis of traffic load on surface and underground transport arteries in Moscow was performed. Three areas with the highest traffic load were chosen for simultaneous vibration measurements from the metro, trams, and road transport along Krasnoprudnaya, Paveletskaya, and Baumanskaya streets.

Keywords: transport vibration, modes of transport, metro, trams, motor transport, experimental plan, means of mechanization, selection of equipment, cracks in building structures.

1. Введение

Исследование динамического влияния транспорта на окружающую среду, сооружения и людей является актуальной проблемой с постоянно возрастающей значимостью по нескольким ключевым причинам: рост населения городов приводит к увеличению численности жителей, повышению плотности застройки и, как следствие, возрастанию транспортной нагрузки. Развитие транспортной инфраструктуры, прежде всего строительство новых дорог, железнодорожных линий и метрополитенов, расширяет зону воздействия динамических нагрузок и увеличивает интенсивность движения всех видов транспорта (автомобильного, железнодорожного, трамвайного, метро). Все эти факторы способствуют росту частоты и амплитуды динамического влияния.

Стоит отметить, что возросшие требования нормативно-правовых документов к комфорту проживания и работы в зданиях (уровень шума, вибрация) делают проблему динамического воздействия транспорта ещё более острой.

Техногенное воздействие транспорта может являться угрозой для исторических зданий и памятников архитектуры, часто расположенных вблизи транспортных магистралей [1]. Например, в Астрахани трамваи убрали из центральной части города в 2008 году, поскольку вибрация разрушала не только памятники архитектуры, но и жилые дома, жители которых жаловались на локальное раскрытие трещин. Разработка эффективных методов защиты исторических зданий от динамического воздействия транспорта является также важной задачей сохранения культурного наследия [2].

Интенсивный рост пиковой загруженности всех типов наземного и подземного транспорта в крупных мегаполисах и городах «миллионниках» на современном этапе ставит перед учёными и специалистами в области оценки воздействия динамических колебаний и исследований кинематики раскрытия трещин в зданиях и сооружениях, новые сложные задачи (рис. 1) [3,4].

Методы исследования комплекса динамических воздействий от городского транспорта на близлежащие здания включают в себя: экспериментальный метод с натурными измерениями вибрации в метро, на фундаменте, в здании и т.д.; теоретический метод с разработкой математической модели распространения вибрации в грунте и здании или развитием существующего аналитического метода; численное моделирование с использованием специального программного обеспечения для моделирования динамического поведения здания под воздействием вибрации от трех видов транспорта и статистический анализ с обработкой данных измерений для выявления закономерностей и зависимостей [5,6].



Рисунок 1 - Динамика пассажиропотока

Одним из сложных направлений исследований является оценка влияния комплексности динамических воздействий наземного и подземного городского транспорта в условиях густой застройки территории на раскрытие трещин в несущих строительных конструкциях зданий и сооружений [7,10, 11].

Анализ экспериментальных исследований. По данным [8,9] многочисленных обследований установлено, что вибрация верхнего строения пути, возникающая при движении составов метрополитена, а также наземного железнодорожного рельсового транспорта, передаётся через грунт на фундамент зданий и вызывает в их помещениях вибрацию и структурный шум. Вертикальные вибрации возбуждают, в основном, резонансные колебания перекрытий, а горизонтальные – резонансные колебания стен, что и вызывает структурный шум (гул) в помещениях.

Результаты, представленные в заключениях по инструментальному обследованию колебаний поверхности грунта и прогнозу уровней вибрации и структурного шума в проектируемых многофункциональных комплексах при движении поездов действующей и перспективной линий метрополитена, а также железнодорожных составов на объектах в центре г. Москвы показывают значительное увеличение виброскоростей продольных и поперечных виброволн [10,11].

Анализ напряженно-деформированного состояния дорожной конструкции показывает, что основное разрушающее воздействие на автомобильную дорогу производят грузовые многоосные автопоезда, движение которых осуществляется с нагрузками, нередко превышающими нормативные.

Вибрации, распространяющиеся от трамвая, движутся по пути с увеличением интенсивности движения экипажей, плотности инфраструктуры сети, а также возрастанием площади городской территории, выделенной для организации транспортных магистралей и транспортно-пересадочных узлов, приводят к значительному увеличению акустического и вибрационного воздействия на объекты транспортной инфраструктуры и окружающей застройки [12,13,15].

Нормативно-правовое обеспечение в данном направлении исследований устанавливает предельно допустимые уровни общей вибрации, общее руководство по измерениям вибрации машин на вращающихся и невращающихся частях и последующей оценке их вибрационного состояния, а также устанавливает метод определения и оценки общей вибрации, которая воздействует на водителя и пассажиров. К таким нормативно-правовым документам относят: Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 16.10.2020 №30 «Об утверждении санитарных правил СП 2.5.3650-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к отдельным видам транспорта и объектам транспортной инфраструктуры»; ГОСТ Р 55855-2013 «Автомобильные транспортные средства. Методы измерения и оценки общей вибрации»; ГОСТ Р ИСО 20816-1-2021 «Вибрация. Измерения вибрации и оценка вибрационного состояния машин. Часть 1. Общее руководство» и др.

Проведённый анализ научной литературы и изучение проблемы влияния транспортной вибрации на фундаменты и строительные конструкции зданий и сооружений, расположенных в зоне влияния, позволили сформулировать **цель исследования:** *оценка комплексного динамического воздействия на здания и сооружения от наземного (трамвай и автомобили) и подземного (метро) городского транспорта.*

В рамках поставленной цели будут решены следующие **задачи исследования:**

- анализ результатов исследований по данной тематике, опубликованных в научной литературе и подбор виброизмерительного оборудования, предназначенного для измерения виброускорения, виброскорости, размаха виброперемещения для проведения экспериментальных исследований;
- подготовка обосновывающих материалов для определения состава лабораторных измерений в части виброизоляционного воздействия на объекты транспортного комплекса города Москвы;

- проведение измерений уровней вибрации трамвая, автобуса и метрополитена по отдельности и от одновременного прохождения участка тремя видами транспорта;
- оценка влияния вибрации на основания, фундаменты и перекрытия зданий, расположенных в зоне влияния при одновременном прохождении участка тремя видами транспорта с помощью численного моделирования.

Исследования транспортной вибрации авторы научных работ [16-18] рассматривают как действия, генерируемые отдельными видами транспортного движения: автомобильным, трамвайным и железнодорожным - поодиночке и в различных комбинациях; а также воздействие динамических полей в грунте на здания и сооружения, находящиеся в зоне влияния. Действия динамических полей от автомобильного, трамвайного, железнодорожного транспорта и тоннелей метрополитена на подземную часть зданий и сооружений, рассматриваются в основном, как воздействие квазидетерминированного процесса, а для выявления собственных частот колебаний отдельных конструктивных элементов сооружений как откликов на соответствующие воздействия используется спектральный анализ Фурье [18-20].

Основные показатели, характеризующие прохождение динамических волн: доминирующие частоты, виброскорости, виброускорения частиц грунта и зона влияния (рис. 2).

Комплексность динамических воздействий от наземного и подземного транспорта				
	Ж/Д	Трамвай	Авто	Метро
Доминирующие частоты, Гц	10-70	20-45	10-20	30-70
Виброскорость частиц грунта, м/с (Дб)	16-50 (110-120)	16-160 (90-130)	0.005-0.007 (40-65)	16-50 (110-120)
Виброускорение частиц грунта, м/с (Дб)	1-22 (70-97)	0.5-45 (56-130)	0.003-0.011	16-50 (110-120)
Зона влияния, м	150-300	150-300	40-100	40-80
Уровни динамического воздействия на грунты и сооружения				
<div>Низкий</div> <div>Средний</div> <div>Высокий</div>				

Рисунок 2 - Основные показатели, характеризующие прохождение динамических волн и уровни динамического воздействия на грунты и строительные конструкции

В целом, исследования в результате обработки измерений [11,13,14] показывают, что здания, находящиеся в непосредственной близости от напряженных транспортных магистралей, испытывают вибрации, эквивалентные толчкам в сейсмически опасных районах.

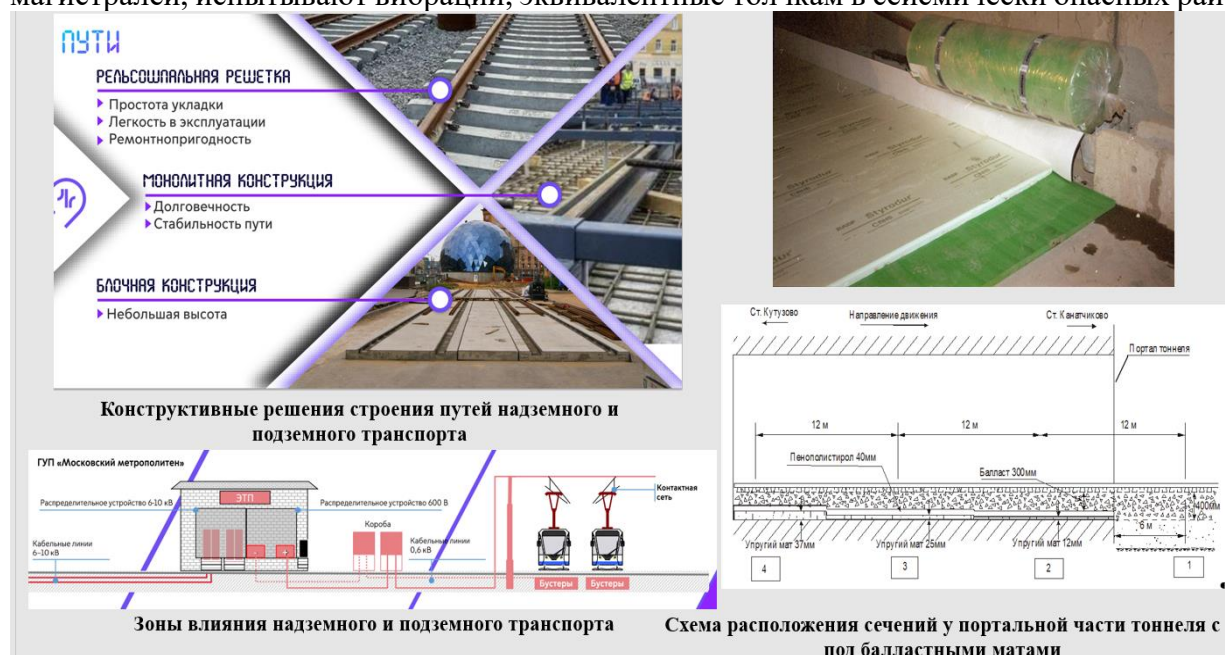


Рисунок 3 - Анализ конструктивно-технологических решений строения пути и оценка вибродемпфирующих материалов для надземного и подземного транспорта

Выполнен анализ конструктивно-технологических решений строений для надземного и подземного транспорта с оценкой применяемых материалов для демпфирования вибраций [10,14,15]. Распространение зон влияния продольных и поперечных волн составляет до 300 метров (рис.3).

Зная искомые величины динамического воздействия со стороны транспортных средств на несущие конструкции расположенных рядом с магистралями зданий и сооружений, нормальные перемещения и ускорения точек фундаментов, стен, перекрытий, цокольных элементов, можно подобрать параметры реальных материалов и конструкций, рекомендуемых для гашения акустической и вибрационной нагрузки.

2. Модели и методы

Для исследований вибрационных нагрузок от городского транспорта в эксперименте будут рассмотрены воздействия трёх видов транспорта - метрополитен, трамваи и автобусы с автомобилями - как наименее исследованное сочетание по комплексной транспортной вибрации в настоящее время.

В плане проведения натурных испытаний будут рассматриваться действия, генерируемые отдельными видами транспортного движения: автомобильным, трамвайным и от метро, как в отдельности, так и в сочетаниях, а также действия динамических полей в грунте на фундаменты и перекрытия, расположенных вблизи зданий и сооружений.

Выполнен подбор специализированного оборудования для проведения эксперимента – это анализатор шума и вибрации, регистратор и вибротест (Рисунок 4).



Рисунок 4 - Подбор специализированного оборудования для проведения эксперимента

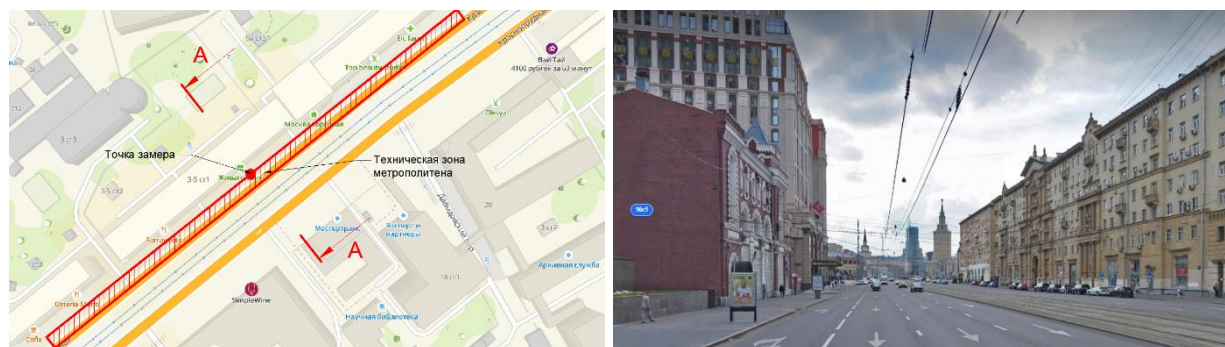


Рисунок 5 - Схема расположения точек замеров вибрации от наземного и подземного транспорта по ул. Краснопрудная

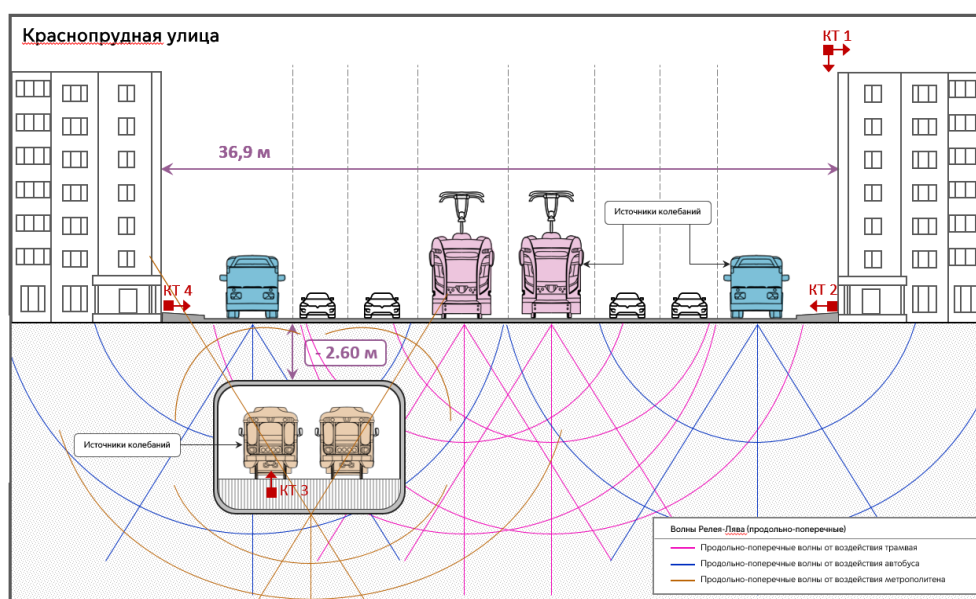


Рисунок 6 - Разрез А – А (для организации программы проведения комплексных натурных исследований по ул. Краснопрудная)

Для выбора натурной площадки и проведения эксперимента был проведён анализ загруженности транспортных магистралей наземного и подземного транспорта в Москве. Были выбраны три наиболее загруженные территории для одновременного замера вибрации от метро, трамвая и автотранспорта по улицам: Краснопрудная, Павелецкая и Бауманская.

Замеры в метро при интенсивности движения на перегоне с 8 до 10 часов утра позволят определить временные пики в тоннеле и визуально на поверхности зафиксировать движение трамвая и автотранспорта, а затем определить пиковые пересечения для расчета суммарных транспортных вибраций. Проведённый анализ существующих методик прогнозирования транспортной вибрации, показывает, что исходные параметры колебаний, например, обделки тоннелей принимают в соответствии с рекомендациями «ВСН 211-91. Прогнозирование уровней вибрации грунта от движения метропоездов и расчет виброзащитных строительных устройств». Если значения инструментальных измерений вибрации обделок тоннелей метрополитена будут выражены в дБ, то корректируемый уровень определяется по формуле:

$$L_{korr} = 10 \log \left(10^{\frac{L_{16}}{10}} + 10^{\frac{L_{31,5}}{10}} + 10^{\frac{L_{63}}{10}} \right). \quad (1)$$

Здесь v_R - виброскорость, вызванная волной Рэлея, вычисляемая по формуле

$$v_R = v_{\max} \cdot \sqrt{\frac{R_0}{H_0}} \cdot \exp(-\beta k_l H_0) \cdot \exp(-\beta k_R x); \quad (2)$$

β - коэффициент затухания в грунте;

$k_R = \frac{2\pi f}{0.92c_l}$ - волновое число волны Рэлея;

Проекции виброскорости, вызванные продольной волной в грунте, вычисляемые по формуле:

$$v_l = \sqrt{\frac{R_0}{\sqrt{x^2 + H_0^2}}} v_{\max} e^{-\beta k_l \sqrt{x^2 + H_0^2}} \quad (3)$$

H_0 - глубина, на которой находится лотковая часть обделки тоннеля;

x - удаление от продольной оси тоннеля;

R_0 - характерный размер, представляющий собой минимальное из $D/2$ и половины ширины тоннеля;

$k_l = \frac{2\pi f}{c_l}$ - волновое число продольной волны в грунте;

v_{\max} - максимальная величина виброскорости на лотковой части обделки тоннеля.

При расчетах величин вибрации на поверхности грунта требуется определение следующих параметров грунтовых условий в заданном районе:

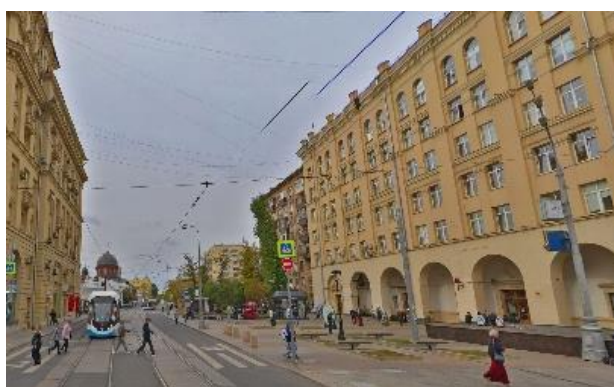
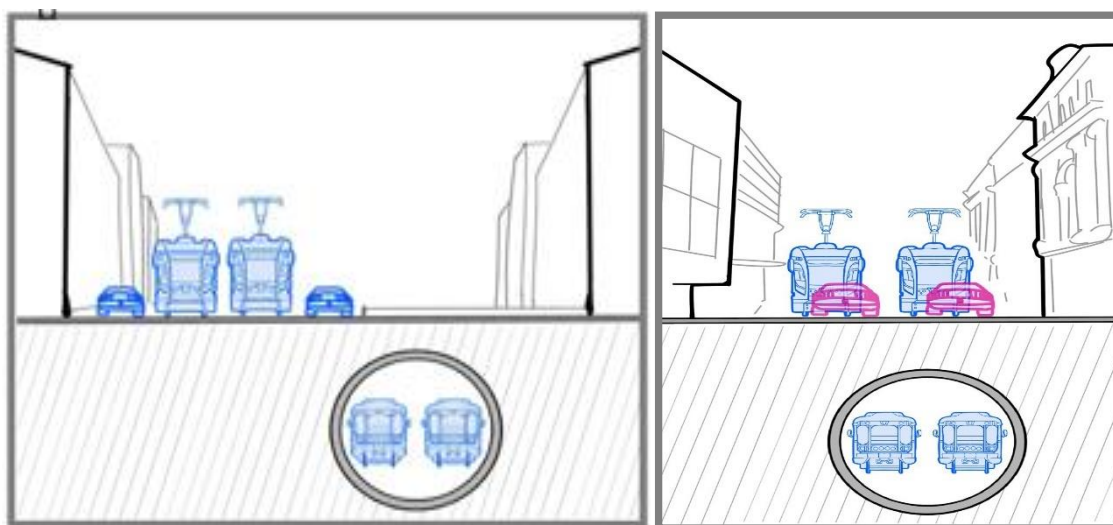
- плотности грунта в каждом слое ρ ;
- коэффициента затухания β в каждом слое.

Если динамические и диссипативные свойства двух соседних слоев отличаются соответственно менее чем в 1,5 и 2 раза, данные слои объединяются в один с общей суммарной толщиной $h=h_1+h_2$ и средними скоростями распространения упругих волн и коэффициента затухания.

3. Результаты исследования и их анализ

Разработана программа проведения комплексных натурных испытаний и определено 5 точек установки оборудования: в метро, на кровле многоэтажных зданий и на фундаменте в подвале.

На первом этапе эксперимент будет проведён по улице Краснопрudная (рис.7). По данному участку проходят восемь маршрутов общественного транспорта; инженерно-геологический разрез на данном участке представлен четырьмя основными слоями: первый - мощностью 4 метра является техногенный, с влажными и водонасыщенными суглинками и супесями; второй - мощностью 2 метра состоит из иловатых глин и суглинков мягко- и тугопластичных, далее следуют водонасыщенные пылеватые мелкие пески с гравием и галькой от 5 до 8.5 м.



а)

б)

Рисунок 7 - Фото и схемы расположения точек замеров вибрации от наземного и подземного транспорта: а – по ул. Павелецкая, б – по ул. Бауманской

На втором этапе проведения натурных испытаний, по результатам, полученным на первом экспериментальном участке транспортной сети, будет скорректирована программа проведения замеров для определения пиковых временных значений показателей при одновременном прохождении трёх видов транспорта на участках улиц Павелецкой и Бауманской.

Сформулирована гипотеза:

- Взаимодействие вибраций, генерируемых одновременно проходящим наземным и подземным транспортом вблизи зданий и сооружений, приводит к частичному увеличению

или уменьшения определенных частот вибрационного спектра, что потенциально необходимо учитывать при проектировании несущей способности фундаментов, так как возможно увеличение негативное воздействие на строительные конструкции.

4. Заключение

1. В рамках поставленной цели и задач исследования по оценке комплексного динамического воздействия на здания и сооружения от наземного (трамвай и автомобили) и подземного (метро) городского транспорта разработана методика проведения испытаний, основанная на действующих нормативных документах по измерению общей вибрации и оценке ее воздействия на человека и конструкцию.

2. Полученные уровни вибрации с корректировкой виброускорений в октавных полосах частот, учитывающих прохождение всех видов транспорта в совокупности и каждого вида в отдельности на трёх экспериментальных участках транспортной сети города Москвы, расположенных по улицам: Краснопрудная, Павелецкая и Бауманская позволят подтвердить предполагаемую научную гипотезу о взаимном гашении виброволн в момент временных пиковых показателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Золина Т. В. Исследование влияния вибрационных воздействий от автотранспорта на состояние конструкций фундамента жилого здания / Т. В. Золина, Н. В. Купчикова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2019. – № 3(29). – С. 24-29.
2. Территориально-пространственное развитие трамвайной транспортной инфраструктуры Москвы и ее влияние на существующую застройку / В. П. Титов, В. И. Гришин, Н. В. Купчикова, Ю. В. Лазуткин // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2024. – № 3(49). – С. 40-49.
3. Экспериментальная динамика сооружений. Мониторинг транспортной вибрации: монография / Е. К. Борисов [и др.]; Камчатский гос. технический ун-т, Профессорский клуб ЮНЕСКО (г. Владивосток). – Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатГТУ, 2007.
4. Купчикова Н. В. Проектирование радиальных коммуникационных тоннелей при редевелопменте территорий / Н. В. Купчикова, Ю. В. Лазуткин, Е. Е. Купчиков // Инновационное развитие регионов: потенциал науки и современного образования: Материалы VII Национальной научно-практической конференции с международным участием, приуроченной ко Дню российской науки, Астрахань, 09 февраля 2024 года. – Астрахань: Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 2024. – С. 70-78.
5. Федоров В. С. Об организации опытно-экспериментальной работы в ходе исследования влияния комплексности вибровоздействий наземного и подземного транспорта на здания и сооружения / В. С. Федоров, Н. В. Купчикова, Ю. В. Лазуткин // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2024. – № 1(47). – С. 95-100.
6. Кузнецов А. Н. Снижение уровня транспортной вибрации в кабинах автотракторных средств за счёт применения инерционных компонентов в подвеске / А. Н. Кузнецов, О. И. Поливаев // Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения для АПК: Материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 30 ноября 2023 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2023. – С. 61-67.
7. Ванин В. С. Метод использования переходных функций при оценке транспортной вибрации / В. С. Ванин, Т. Е. Галаган // Строительные и дорожные машины. – 2007. – № 3. – С. 32-35.
8. Локтев А. А. Моделирование воздействия городского рельсового транспорта на окружающую застройку / А. А. Локтев, Д. А. Локтев, Л. А. Илларионова // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2023. – № 1. – С. 52-60.
9. Купчикова Н. В. Экспертиза геоподосновы, оснований и фундаментов: современные приборы и оборудование при проведении экспериментальных исследований и геотехнического мониторинга / Н. В. Купчикова, А. С. Таркин // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2021. – № 4(38). – С. 47-55.
10. Ашпиз, Е. С. Применение эластомерных подбалластных матов в тоннеле / Е. С. Ашпиз, Е. Ю. Титов, А. В. Гордеев // Путь и путевое хозяйство. – 2023. – № 5. – С. 22-25.
11. Купчикова Н. В. Технология реконструкции, санации и капитального ремонта зданий, включая экспертизу геоподосновы, оснований и фундаментов / Н. В. Купчикова. – Астрахань: Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 2019. – 105 с.
12. Kupchikova N. V. Numerical researches of the work of the pile with end spherical broadening as part of the pile group / N. V. Kupchikova // Building and Reconstruction. – 2019. – No. 6(86). – P. 3-9
13. Фильтрационная устойчивость грунтовых перемычек плотин как временных гидротехнических сооружений / В. С. Федоров, Н. В. Купчикова, С. С. Рекунов, И. В. Федосюк // Строительство и реконструкция. – 2024. – № 5(115). – С. 44-60.
14. Задачи и перспективы развития научных исследований в рамках сотрудничества между ОАО "РЖД" и Российской академией наук / Н. А. Махутов, Б. М. Лапидус, М. М. Гаденин, Е. Ю. Титов // Железнодорожный транспорт. – 2023. – № 7. – С. 6-11.
15. Сычева А. В. Снижение динамического воздействия колеса на рельс применением новой технологии выравнивания рельсовых нитей / А. В. Сычева, А. А. Локтев, В. П. Сычев // Современные проблемы

совершенствования работы железнодорожного транспорта: Межвузовский сборник научных трудов. – Москва: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Российский университет транспорта", 2024. – С. 376-382.

16. Ашпиз Е. С. Применение эластомерных подбалластных матов в тоннеле / Е. С. Ашпиз, Е. Ю. Титов, А. В. Гордеев // Путь и путевое хозяйство. – 2023. – № 5. – С. 22-25.

17. Метод сейсмоизоляции и виброизоляции, основанный на свойствах изображений Фурье финитных функций / Е. Н. Курбацкий, Е. Ю. Титов, О. А. Голосова, С. С. Харитонов // Academia. Архитектура и строительство. – 2020. – № 1. – С. 102-110.

18. Курбацкий Е. Н. Оценка влияния поверхностных слоев грунта на параметры спектров максимальных реакций / Е. Н. Курбацкий, А. Ш. Хуссейн // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. – 2024. – № 1(68). – С. 47-48.

19. Патент № 2696175 С2 Российская Федерация, МПК В60W 10/02, В60W 10/06, В60W 10/11. Способ и система для регулирования шума, вибрации и резкости работы силового агрегата транспортного средства: № 2017143451: заявл. 12.12.2017: опубл. 31.07.2019 / А. Д. Ричардс, А. Н. Бэнкер, А. Й. Карник, Д. Э. Роллингер; заявитель Форд Глобал Текнолоджиз, ЛЛК.

20. Авторское свидетельство № 653146 А1 СССР, МПК В60G 25/00. Устройство для защиты от вибрации пользователя транспортным средством: № 2485281: заявл. 12.05.1977: опубл. 25.03.1979 / Б. Д. Цвик, Е. Я. Улицкий, Т. Г. Цвик; заявитель Всесоюзный ордена трудового красного знамени научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства.

REFERENCES

1. Zolina T.V., Kupchikova N.V. Research of the Influence of Vibration Effects from Motor Vehicles on the Condition of the Foundation Structures of a Residential Building. *Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region*. 2019. No. 3(29). Pp. 24-29.

2. Titov V.P., Grishin V.I., Kupchikova N.V., Lazutkin Yu.V. Territorial and spatial development of the tram transport infrastructure of Moscow and its influence on the existing development. *Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Sea*. 2024. No. 3(49). Pp. 40-49.

3. Borisov E.K. [et al.] Experimental dynamics of structures. Monitoring of transport vibration: monograph. Petropavlovsk-Kamchatsky: Publishing House of KamchatSTU, 2007.

4. Kupchikova N.V., Lazutkin Yu.V., Kupchikov E.E. Design of Radial Communication Tunnels for Territorial Redevelopment. *Innovative Development of Regions: The Potential of Science and Modern Education: Proceedings of the 7th National Scientific and Practical Conference with International Participation, Dedicated to the Day of Russian Science, Astrakhan, February 9, 2024*. Astrakhan: Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, 2024. Pp. 70-78.

5. Fedorov V.S., Kupchikova N.V., Lazutkin Yu.V. On the organization of experimental work in the course of the study of the influence of the complexity of vibration effects of ground and underground transport on buildings and structures. *Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Sea*. 2024. No. 1(47). Pp. 95-100.

6. Kuznetsov A.N., Polivayev O.I. Reducing the level of transport vibration in the cabins of motor vehicles and tractors by using inertial components in the suspension. *Science and Education at the Present Stage of Development: Experience, Problems, and Solutions for the Agro-Industrial Complex: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Voronezh, November 30, 2023*. Voronezh: Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I, 2023. Pp. 61-67.

7. Vanin B.S., Galagan T.E. The method of using transition functions in the assessment of transport vibration. *Construction and Road Machinery*. 2007. No. 3. Pp. 32-35.

8. Loktev A.A., Loktev D.A., Illarionova L.A. Modeling the impact of urban rail transport on the surrounding development. *Transport. Transport Facilities. Ecology*. 2023. No. 1. Pp. 52-60.

9. Kupchikova N.V., Tarkin A.S. Expertise of Geological Base, Foundations, and Substrates: Modern Instruments and Equipment for Experimental Research and Geotechnical Monitoring. *Engineering Bulletin of the Caspian Region*. 2021. No. 4(38). Pp. 47-55.

10. Ashpiz E.S., Titov E.Yu., Gordeev A.V. Application of elastomeric sub-ballast mats in a tunnel. *Way and Track Maintenance*. 2023. No. 5. Pp. 22-25.

11. Kupchikova N.V. Technology of reconstruction, sanitation and major repairs of buildings, including expertise of geological basis, bases and foundations. Astrakhan: Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, 2019. 105 p.

12. Kupchikova N.V. Numerical researches of the work of the pile with end spherical broadening as part of the pile group. *Building and Reconstruction*. 2019. No. 6(86). P. 3-9.

13. Fedorov V.S., Kupchikova N.V., Rekunov S.S., Fedosyuk I.V. Filtration stability of dam soil barriers as temporary hydraulic structures. *Construction and Reconstruction*. 2024. No. 5(115). Pp. 44-60.

14. Makhutov N.A., Lapidus B.M., Gadenin M.M., Titov E.Yu. Tasks and Prospects for the Development of Scientific Research within the Framework of Cooperation between Russian Railways and the Russian Academy of Sciences. *Railway Transport*. 2023. No. 7. Pp. 6-11.

15. Sycheva A.V., Loktev A.A., Sychev V.P. Reducing the Dynamic Impact of the Wheel on the Rail by Using a New Technology for Aligning Rail Threads. *Modern Problems of Improving Railway Transport: Interuniversity Collection of Scientific Papers*. Moscow: Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Russian University of Transport", 2024. Pp. 376-382.

16. Ashpiz E.S., Titov E.Yu., Gordeev A.V. Application of Elastomeric Sub-Ballast Mats in a Tunnel. *Way and Track Maintenance*. 2023. No. 5. Pp. 22-25.
17. Kurbatsky E.N., Titov E.Y., Golosova O.A., Kharitonov S.S. The method of seismic isolation and vibration isolation based on the properties of Fourier images of finite functions. *Academia. Architecture and Construction*. 2020. No. 1. Pp. 102-110.
18. Kurbatsky E.N., Khussein A.Sh. Assessment of the Influence of Surface Soil Layers on the Parameters of Maximum Reaction Spectra. *Natural and Technogenic Risks. Safety of structures*. 2024. No. 1(68). Pp. 47-48.
19. Patent No. 2696175 C2 Russian Federation, IPC B60W 10/02, B60W 10/06, B60W 10/11. Method and system for regulating noise, vibration, and harshness of operation of a vehicle power unit: No. 2017143451: filed on 12.12.2017: published on 31.07.2019 / Richards A.D., Bunker A.N., Karnik A.Y., Rollinger D.E.; applicant: Ford Global Technologies, LLC.
20. USSR Patent No. 653146 A1, IPC B60G 25/00. Device for protecting a vehicle user from vibration: No. 2485281: filed on May 12, 1977: published on March 25, 1979 / Tsvik B.D., Ulitsky E.Ya., Tsvik T.G.; applicant: All-Union Research Institute of Agricultural Mechanization.

Информация об авторах

Фёдоров Виктор Сергеевич

ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта» (РУТ МИИТ), академик РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительные конструкции, здания и сооружения».
E-mail: fvs_skzs@mail.ru.

Лазуткин Юрий Викторович

ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта» (РУТ МИИТ), аспирант кафедры «Строительные конструкции, здания и сооружения»;
E-mail: lazutkinyv@mtp.mos.ru

Купчикова Наталья Викторовна

ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта» (РУТ МИИТ), кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Строительные конструкции, здания и сооружения»;
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» МПИиС филиал, г. Москва, Россия, кандидат технических наук, профессор кафедры «Промышленное и гражданское строительство».
E-mail: kupchikova79@mail.ru

Information about authors

Fedorov Viktor S.

Russian University of Transport (RUT MIIT), Moscow, Russia,
Academician of RAACS, Dr. Sci. (Eng.), Prof.,
Head of the Department "Building Structures, Buildings and Facilities"
E-mail: fvs_skzs@mail.ru.

Lazutkin Yuri V.

Russian University of Transport (RUT MIIT), Moscow, Russia,
Postgraduate student of the Department "Building Structures, Buildings and Facilities"
E-mail: lazutkinyv@mtp.mos.ru

Kupchikova Natalia V.

Russian University of Transport (RUT MIIT), Moscow, Russia,
Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof. of the Department "Building Structures, Buildings and Facilities";
Mytishchi Branch of National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
Cand. Sci. (Eng.), Prof. of the Department "Industrial and Civil Engineering"
E-mail: kupchikova79@mail.ru

Статья поступила в редакцию 19.04.2025
Одобрена после рецензирования 09.08.2025
Принята к публикации 11.08.2025

The article was submitted 19.04.2025
Approved after reviewing 09.08.2025
Accepted for publication 11.08.2025