

21. BRIMOS Bridge monitoring system [Электронный ресурс] / URL: [https://www.bbv-systems.com/fileadmin/con-bbv/Systeme\\_und\\_Verfahren/Brimos\\_KKS/BRIMOS\\_Folder\\_BBV.pdf](https://www.bbv-systems.com/fileadmin/con-bbv/Systeme_und_Verfahren/Brimos_KKS/BRIMOS_Folder_BBV.pdf) (дата обращения: 16.07.2019)

22. Дороги и искусственные сооружения России. TOP-30 крупнейших проектов строительства и реконструкции дорог. Итоги 2017 г. Перспективы до 2020 г. [Электронный ресурс] / URL: <https://infoline.spb.ru/shop/investitsionnye-proekty/page.php?ID=160578#tab-op-link> (дата обращения: 16.07.2019).

© И. Г. Овчинников, А. П. Косауров, Д. И. Суров

**Ссылка для цитирования:**

Овчинников И. Г., Косауров А. П., Суров Д. И. Непрерывный удаленный мониторинг и диагностика технического состояния мостов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2019. № 3 (29). С. 16–24.

УДК 624.1

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИБРАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ОТ АВТОТРАНСПОРТА НА СОСТОЯНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ФУНДАМЕНТА ЖИЛОГО ЗДАНИЯ

*Т. В. Золина, Н. В. Купчикова*

*Астраханский государственный архитектурно-строительный университет*

В данной работе проводились экспериментальные исследования о влиянии вибрационных воздействий от автомобильных магистралей на состояние конструкций фундамента 5-ти этажного жилого здания в г. Астрахани. Исследования были совмещены с проведением экспертизы геоподосновы, оснований и фундамента многоэтажного кирпичного жилого здания. Проведенные исследования показали, что в течении четырёх лет, поврежденные конструкции здания подверглись значительным изменениям ввиду увеличивающейся вибрации от автомагистрали, а скорости развития деформаций в несущих конструкциях доказывают аварийное их состояние. Подтверждено, что основными факторами, влияющими на величину виброускорения конструкции фундамента здания, являются: конструктивный тип здания; расстояние от здания до источника сейсмических волн; скорость распространения продольной волны в грунтовом слое.

**Ключевые слова:** исследования, оценка вибрации, воздействия на фундамент, воздействия от транспортных магистралей, сейсмические волны, продольные и поперечные волны.

## RESEARCH OF THE INFLUENCE OF VIBRATION IMPACTS FROM VEHICLES ON THE STATE OF THE FOUNDATION STRUCTURE OF A RESIDENTIAL BUILDING

*T. V. Zolina, N. V. Kupchikova*

In this work, experimental studies were conducted on the effect of vibrational influences from highways on the state of the foundation structures of a five-story residential building in Astrakhan. The studies were combined with an examination of the geo-base, foundations, and foundation of a multi-story brick residential building. Studies have shown that over four years, damaged building structures underwent significant changes due to increased vibration from the highway, and the rate of deformation in the supporting structures prove their emergency state. It is confirmed that the main factors affecting the magnitude of vibration acceleration of the building foundation structure are: structural type of the building; distance from the building to the source of seismic waves; longitudinal wave propagation velocity in the soil layer.

**Keywords:** research, vibration assessment, impact on the foundation, impacts from highways, seismic waves, longitudinal and transverse waves.

За последние 10–15 лет в результате многократного повышения уровня насыщения городов, рост всех видов грузопотоков, увеличение скорости и интенсивности движения транспорта обуславливают необходимость получения качественных и количественных оценок влияния транспортной вибрации на сохранность строительных конструкций зданий и сооружений.

В многоэтажных зданиях наряду с уменьшением вибрации на высоких этажах наблюдаются и увеличение ее за счет резонансных явлений. Как в отечественной, так и в зарубежной литературе с частой периодичностью появляются сообщения об отрицательных последствиях транспортной вибрации [1, 3, 4, 8–12], однако она, как правило, не учитывается ни при новом строительстве, ни при эксплуатации, ни при реконструкциях существующих зданий и сооружений. По направлению действия вибрацию подразделяют на вертикальную и горизонтальную. Вибрация, передаваемая через грунт и создаваемая при прохождении транспортного средства, распространяется в виде сейсмических продольных и поперечных волн.

Учёт местных инженерно-геологических условий позволяет рассчитывать более сейсмостойкие и безопасные сооружения. Этот факт учитывается во многих строительных нормах и правилах, в которых вводятся поправки на сейсмические воздействия, учитывающие резонансные усиления колебаний верхнего слоя грунта. Эффекты геологического строения площадки можно исследовать более тщательно, учитывая характер распространения волн через слоистую среду, что позволит повысить точность и уменьшить дисперсию параметров возможных предполагаемых колебаний грунта.

Продольная (см. рис. 1), или Р – волна (primery – первичные) имеет максимальную скорость. При ее прохождении каждая частица породы перемещается вперед и назад вдоль направления движения волны, при этом среда испытывает ряд сжатий и растяжений. В этих волнах отсутствует вращение частиц. При прохождении поперечной или S - волны, частицы грунта перемещаются перпендикулярно к направлению, в котором она распространяется. Поверхностные волны, которые часто оставляют наиболее интенсивную часть записи сейсмо-

графа, это L – волны или длинные (long) волны, так как период колебаний у них больше, чем у P и S – волн. Поверхностные волны представляют собой смесь двух различных типов волн - волн Лява и волн Релея [8-12]. P и S – волны распространяются по объему и поэтому затухают обратно пропорционально кубу расстояния, а L – волны распространяются вдоль поверхности и затухают обратно пропорционально квадрату расстояния. Поэтому начиная с определенного расстояния поверхностные волны оказываются для зданий и сооружений самыми опасными.

В данной работе проводились экспериментальные исследования о влиянии вибрационных воздействий от автомобильных магистралей на состояние конструкций фундамента 5-ти этажного жилого здания в г. Астрахани. Исследования были совмещены с проведением экспертизы геоподосновы, оснований и фундамента многоэтажного кирпичного жилого здания с продольными несущими стенами 1975-го года постройки. Проектная документация по возведению объекта в архивах города не сохранилась. Здание претерпело многочисленные деформации, выражающиеся в сквозных трещинах в фундаменте, стенах и недопустимой раздвижке плит перекрытия. Стены

здания толщиной 510 мм выполнены из силикатного белого кирпича, по фасаду не оштукатурены. Перекрытия выполнены из железобетонных плит с круглыми пустотами. По торцам здания примыкают лоджии. Конструктивное решение лоджий выполнено таким образом, что перпендикулярно к торцевой стене примыкают две стены толщиной 410 мм. Высота этажа 2.5 метра. На рисунке 1 показан разрез здания с размерами и на рисунке 2 – общий вид здания, влияние сейсмических волн от транспорта на обследуемое здание и характер нарастания трещин в бетонном фундаменте, в стенах от вибрации (с фотофиксацией).

Для определения конструктивного типа фундамента были разработаны шурфы по всему периметру здания. Пенетрометром статического действия ПСГ-МГ4, предназначенного для ускоренного контроля качества уплотнения грунта, а также прочностных характеристик грунтов земляного полотна – угла внутреннего трения, удельного сцепления, модуля упругости проводились в шурфах измерения грунта. По результатам грунт залегающий под подошвой фундамента на глубину 2 метра – суглинок водонасыщенный с прослойками мелкого песка.

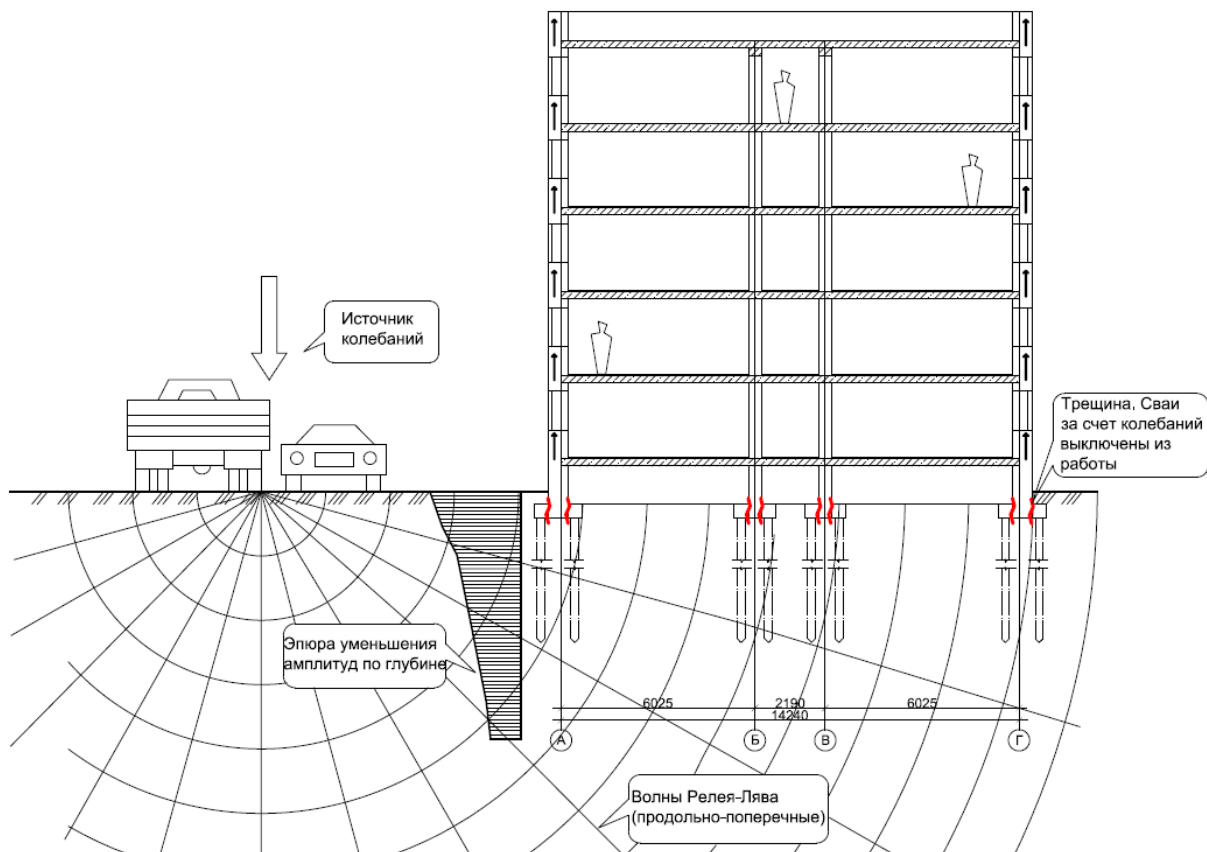


Рис.1. Влияние продольно-поперечных сейсмических волн вибрации от интенсивности автомобильного транспорта вблизи зданий и распространение вибрации вверх здания

По результатам разработки 7-ми шурфов было выявлено, что ростверк под несущие стены здания представляет собой бетонный фундамент ленточного типа толщиной 500–550 мм и

имеет с шагом от 2000 до 36000 мм вторую ступень в виде столбиков отстоящих друг от друга, которые выполнены шириной от 400мм до 600 мм. Столбики расположены с двух сторон от

ленты фундамента. Наглядно это можно увидеть на рисунке 3. В результате шурфования точно установлено, что в местах образования трещин в ростверке в надземной части, это столбики в подземной части имеют трещины и «оторвались» от основного ростверка и не несут нагрузку от здания, а только нагрузку от собственного веса, передавая его на сваю. Длину свай под столбиками определяли с помощью прибора, основанного на спектрально-временном анализе [8]. Установлено в результате разрушающего контроля – ростверк не армированный.

В результате обследования здания выявлено, что при нахождении на кровли постоянно ощущается вибрация от проезжающих вдоль магистрали транспортных средств, особенно грузовых. Согласно пособия к МГСН 2.04-97 «Проектирование защиты от транспортного шума и вибраций жилых и общественных зданий» колебания, вызванные движением автомобильного транспорта, могут усиливаться при их распространении вверх по конструкции здания.

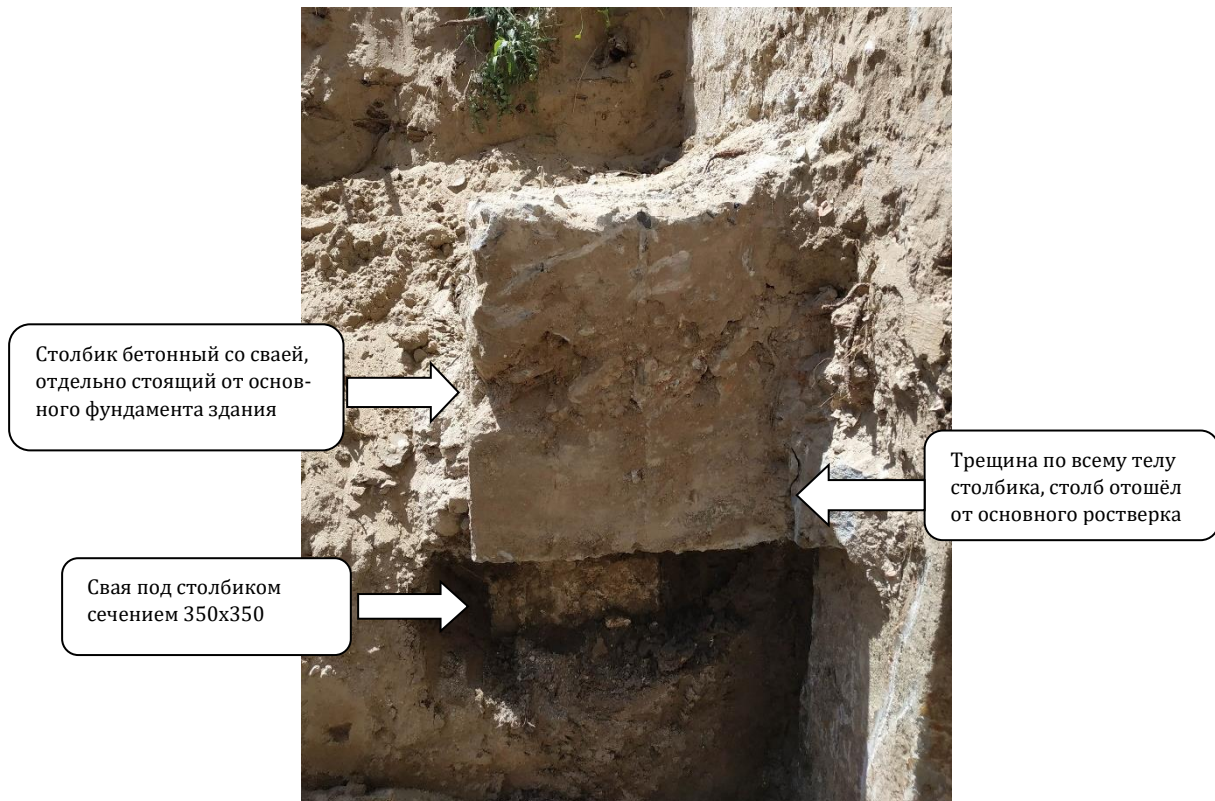


Рис. 3. Фото фиксация бетонного столбика со свайей, отдельно стоящего от основного фундамента здания

Поэтому проводили дополнительные измерения для зданий выше 12-ти метров на верхнем перекрытии здания с помощью виброметра, устанавливаемого в ряд по вертикали через каждые 12 м, чтобы обеспечить возможность наблюдения за характером изменения вибрации. Вибрацию измеряют на несущих элементах, определяющих жесткость конструкции, обычно вблизи ее углов.

Вибрацию, передаваемую телу человека, следует измерять в принятых направлениях ортогональной системы координат, имеющей своим началом сердце человека:

- по оси Z – вертикальная ось, от ног к голове;
- по оси X – горизонтальная ось, от спины к груди;
- по оси Y – горизонтальная ось, от правого плеча к левому.

Определение частот, виброскоростей и виброускорений на здании проводили с помощью

специализированного прибора ВИБРОТЕСТ-МГ4.01 с помощью которого сравнивали с нормативными значениями согласно п. 6.2. СанПиН 2.1.2.2645-10 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях» с предельно допустимыми уровнями вибрации в жилых помещениях.

Проезжая часть, располагалась как вдоль здания, так и перпендикулярно. Однако со стороны продольно расположенной магистрали, отстоящей всего на 5 метров от фасада фиксировались значения виброскоростей и виброускорений на 50–60 % больше, чем со стороны торцевого фасада расположенного перпендикулярно проезжей части. Наиболее критическим является частотный диапазон в пределах октавных полос от 16 до 63 Гц. Измеренные днем уровни вертикальной виброскорости междуэтажного перекрытия и покрытия в октавных полосах частот приведены в таблице 1.



Рис. 2. Общий вид влияния сейсмических волн от транспорта на обследуемое здание и характер нарастания трещин в бетонном фундаменте и стенах от вибрации (с фотофиксацией)

Таблица 1  
Измеренные днем уровни  
вертикальной виброскорости  
междуэтажного перекрытия и покрытия  
в октавных полосах частот

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	2	4	8	16	31,5	63
Измеренные уровни, виброскорости, дБ	75	78	79	88	90	94

Вибрация горизонтального направления (по оси X и Y) не превышала значений фона (без источника).

В соответствии с таблицей 2 «Санитарных норм допустимых вибраций в жилых домах» № 1304–75 к нормативным значениям виброскорости должны быть внесены следующие поправки:

- а) характер вибрации - непостоянный - 10 дБ
- б) вибрация имеет место в дневное время + 5 дБ
- в) суммарная длительность вибрации – 240 с или 13 % + 10 дБ
- Итого: + 5 дБ

В таблице 2 приведены нормативные уровни виброскорости, допустимые уровни виброскорости с учетом поправок и их сравнение с измерениями.

Таблица 2  
Нормативные уровни виброскорости,  
допустимые уровни виброскорости с учетом  
поправок и их сравнение с измерениями

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	2	4	8	16	31,5	63
Нормативные уровни виброскорости, дБ	79	73	67	67	67	67
Поправка к нормативным уровням виброскорости, дБ	+5	+5	+5	+5	+5	+5

#### Список литературы

- Zolina, T.V. Optimization of design parameters for materials consumption for reinforcing metal framework of industrial buildings / T.V. Zolina // Applied Mechanics and Materials, Vol. 875, Pp. 122-127, 2018.
- Kupchikova N.V., Kurbatskiy E.N. Analytical method used to calculate pile foundations with the widening up on a horizontal static impact. В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Ser. "International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety, ICCATS 2017" 2017. С. 012102.
- Савинов А.В., Бартоломей Л.А. Анализ изменений параметров грунтового основания здания на свайном фундаменте при длительной эксплуатации и аварийном техногенном воздействии // Интернет вестник ВолГАСУ. Сер.: Политематическая. 2013. Вып. 2 (27). с.1-12.
- Дудлер И.В., Хайме Н.М., Лярский С.П. Методология инженерных изысканий для особо опасных, технически сложных и уникальных объектов // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2013. № 2. с.115-129.
- Говоров Д.В., Говорова И.А., Зирка В.Г., Говоров В.А., Черняева Н.С. Экспертиза технического состояния и оценка остаточного ресурса конструкций зданий и сооружений // Интернет вестник ВолГАСУ. Сер.: Политематическая. 2013. Вып. 2 (27).
- Сташишина А.Н., М.И. Абу Махади Некоторые аспекты реконструкции фундаментов // Вестник РУДН, серия Инженерные исследования. 2016. №2. с.82-90.
- Паутов А.Б., Грабовый К.П. Некоторые подходы по обследованию фундаментов объектов капитального строительства при производстве строительно-технической экспертизы // Научно-практический электронный журнал Аллея Науки №4 (20). 2018.
- Купчикова Н.В., Алтунов И.Я. Особенности конструктивных решений фундаментов для уменьшения разрушительных эффектов землетрясений. Перспективы развития науки и образования Сборник научных трудов по материалам XXIV международной научно-практической конференции. Под общей редакцией А.В. Туголукова. 2017. С. 213-216.
- Шутова О. А. Анализ вибрационного воздействия автотранспорта на конструкции фундаментов жилых зданий. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Пермск. национальный исследовательский политехн. ун-т. Пермь, 2018.

Допустимые уровни, (дБ) в период с 7 до 23 часов	84	78	72	72	72	72
Измеренные уровни, виброскорости, дБ	75	78	79	88	90	94
Превышение допустимых уровней, дБ	-	-	7	16	18	22

Из таблицы 2 следует, что в дневной период времени в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 8, 16, 31,5 и 63 Гц имеет место превышения допустимых значений вибрации на 7, 16, 18 и 22 дБ.

**Выводы.** Стоит отметить, что вибрация оказала серьезное влияние на состояние несущих и ограждающих конструкций жилого здания, повлияла на износостойкость и сократила срок службы здания. Проведенные исследования показали, что в течении четырёх лет, поврежденные конструкции здания подверглись значительным изменениям. Кинематика раскрытия трещин показывает следующие скорости раскрытия трещин по установленным маякам: минимальное значение – 2,5 мм/год, максимальное – 11,5 мм/год. Скорости развития деформаций в несущих конструкциях доказывают аварийное их состояние.

При проведении натурных исследований были подтверждены данные исследований учёных [9-12], что основными факторами, влияющими на величину виброускорения конструкции фундамента здания, являются: конструктивный тип здания; расстояние от здания до источника сейсмических волн; скорость распространения продольной волны в грунтовом слое.

Подтверждено, как и в работах [9-12], что при расположении здания параллельно транспортной магистрали величина виброускорений и виброскоростей больше, чем при расположении здания перпендикулярно магистрали.



10. EUROCODE 8: Design of structures for earthquake resistance. Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. Draft No 6, Version for translation (Stage 49), 2003. – 223 p.

11. Kurbatsky Eugene N., Shakirov Rustam A., Shevchenko Alexei A., Ni-kitenko Vadim G.: Distortion of seismic signals on downhole seismic measurements. Report. International Exposition & Sixty – Forth Annual Meeting Society of Exploration Geophysicists. Los Angeles, 1994.

12. Zolina, T.V. Vector field modeling of seismic soil movement in building footing / T.V. Zolina, P.N. Sadchikov // Advanced Materials, Structures and Mechanical Engineering Proceedings of the international Conference on Advanced Materials, Structures and Mechanical Engineering, Incheon, South Korea, May 29-31, 2015 / Edited by Mosbeh Kaloop. – CRC Press. – 2016. – pp. 115–118. – Print ISBN: 978-1-138-02793-0. – eBook ISBN: 978-1-315-68300-3. – DOI: 10.1201/b19693-25.

© Т. В. Золина, Н. В. Купчикова

**Ссылка для цитирования:**

Золина Т. В., Купчикова Н. В. Исследование влияния вибрационных воздействий от автотранспорта на состояние конструкций фундамента жилого здания // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2019. № 3 (29). С. 24–29.