

Academia. Архитектура и строительство, № 4, стр. 145–153.

Academia. Architecture and Construction, no. 4, pp. 145–153.

Исследования и теория

Научная статья

УДК 624.042.7

DOI: 10.22337/2077-9038-2024-4-145-153

## Особенности проектирования высокоточных производств в условиях сложившейся городской застройки

**Смирнов Владимир Александрович** (Москва). Кандидат технических наук. Кафедра строительной и теоретической механики Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26. НИУ МГСУ). Эл. почта: VASmirnov@mgsu.ru

*Аннотация.* В статье рассматриваются основополагающие принципы проектирования и критерии размещения высокоточных производств, предназначенных для выпуска микроэлектронных компонентов и исследования структур микронного и субмикронного уровней. Основное внимание в статье уделено защите от вибрации естественного и техногенного происхождения, присутствующей практически в любом месте строительства. Основная цель минимизации вибраций – не допускать возникновения колебаний, способных исказить измерительные данные и нарушать работу высокоточного оборудования, такого как электронные микроскопы, литографические установки и системы нанометрового контроля. При размещении высокоточного оборудования последнего поколения устанавливаются предельно допустимые уровни виброскорости от 3 мкм/с до 0,5 мкм/с или меньше в зависимости от его точности и целей исследований. Вибрации, передаваемые через конструкции здания, должны быть минимизированы путём применения изолированных фундаментов, использования виброизолирующих материалов и систем активной виброизоляции.

*Ключевые слова:* вибрация, виброизоляция, высокоточное оборудование, микроскопы, литография, микроэлектроника, производство

*Финансирование.* Исследование выполнено в рамках программы развития передовой инженерно-строительной школы НИУ МГСУ.

*Для цитирования.* Смирнов В.А. Особенности проектирования высокоточных производств в условиях сложившейся городской застройки // Academia. Архитектура и строительство. – № 4. – С. 145–153. – DOI: 10.22337/2077-9038-2024-4-145-153.

## Precision Production Facility' Design Inside Established Urban Areas

**Smirnov Vladimir A.** (Moscow). Candidate of Sciences in Technology. Department of Structural and Theoretical Mechanics of the National Research Moscow State University of Civil Engineering (Russia, 129337, 26, Yaroslavskoye Shosse, Moscow, Russia. NRU MGSU). E-mail: VASmirnov@mgsu.ru

*Abstract.* The article discusses the fundamental principles of design and criteria for the placement of high-precision production facilities designed to produce microelectronic components and study micron and submicron structures. The main aspect of the article is made on protection from vibration of natural and man-made origin, present in almost any place of construction. The main goal of vibration minimization is to prevent the occurrence of oscillations that can distort measurement data and disrupt the operation of high-precision equipment, such as electron microscopes, lithographic installations and nanometer control systems. The current requirement for vibration is the maximum permissible vibration velocity from 3  $\mu\text{m/s}$  to 0.5  $\mu\text{m/s}$  or less, depending on the equipment and research purposes. Vibrations transmitted through building structures should be minimized by using isolated foundations, vibration-insulating materials and active vibration isolation systems.

*Keywords:* vibration, vibration isolation, high-precision equipment, microscopes, lithography, microelectronics, production

*Funding.* The study was carried out within the framework of the advanced engineering and construction school development program of the National Research Moscow State University of Civil Engineering.

*For citation:* Smirnov V.A. Precision Production Facility' Design Inside Established Urban Areas. In: *Academia. Architecture and Construction*, 2024, no. 4, pp. 145–153, doi: 10.22337/2077-9038-2024-4-145-153.

В связи с прогрессом в области современных технологий полупроводниковой и оптической промышленности, повышения точности и разрешающей способности такого оборудования как, например, сканирующие и зондовые электронные микроскопы, литографические установки, проекционные установки, координатно-измерительные машины и разнообразные сканеры, требования к допускаемым уровням шума и вибрации для высокотехнологичных объектов, предприятий и научно-исследовательских установок класса «мегасайенс» становятся все более жёсткими. Это существенно повышает требования к виброизоляции высокотехнологичных объектов, в которых размещается точное оборудование, поскольку даже малейшие вибрации могут нарушить работу оборудования [1; 2]. Поэтому в помещениях высокотехнологичных объектов, где размещается точное оборудование, уровень вибрации естественной и особенно техногенной природы должен поддерживаться на низком уровне в течение длительного периода времени [3–5]. Учитывая особенности размещения высокотехнологичных объектов в условиях сложившейся городской застройки, воздействие железнодорожного (метрополитен, трамвай, пригородное и грузовое сообщение), автомобильного транспорта [6; 7], нового строительства [8] и реконструкции, эксплуатации тяжёлых машин и оборудования, может нанести существенный вред выпускаемой точной продукции или снизить достоверность проводимого исследования [9] в связи с малым расстоянием между объектом и источником вибрации.

В городских условиях источники вибрационных воздействий достаточно разнообразны и включают транспортные средства, строительные работы, промышленное оборудование и другие внешние факторы. Уровни вибрации варьируются в зависимости от расстояния до источника, типа почвы, режима работы. Исследования по данному направлению выполнены в работах [20–27].

Ориентировочные уровни вибрации могут быть обусловлены:

- движением автомобильного транспорта: могут быть значительными, особенно рядом с магистралями и крупными дорогами. Уровень виброскорости колебаний (среднеквадратическое значение – СКЗ), как правило, варьируется от 0,1 до 1 мм/с при расстоянии 10–20 метров от дороги. На более близком расстоянии виброскорость может достигать 1–5 мм/с и более;
- движением железнодорожного транспорта: могут быть существенно выше, чем от автомобильного транспорта, и до-

стигать 3–10 мм/с СКЗ виброскорости на расстоянии 10–30 метров от путей. Пиковые значения могут превышать 10 мм/с, особенно при прохождении грузовых поездов или поездов на высокой скорости. Вибрация от движения трамваев также создаёт значительные колебания, особенно при приближении поездов, что вызывает пиковые значения амплитуд на частотах около 3–4 Гц. Метрополитен является источником постоянных вибраций в диапазоне 10–40 Гц, которые ощущаются в зданиях, особенно вблизи линий мелкого заложения;

- дорожным строительством, бурением и земляными работами: данные типы работ могут генерировать вибрации с уровнем до 5–20 мм/с вблизи места проведения работ, в зависимости от типа оборудования и интенсивности работ;

- забивкой свай: один из наиболее интенсивных источников вибрации. Уровни виброскорости колебаний могут превышать 20 мм/с на расстоянии до 50 метров от места работ;

- работой вентиляционных и насосных станций, как правило, составляют менее 1 мм/с, но при отсутствии достаточной виброизоляции могут распространяться на значительные расстояния.

- работой стационарных механизмов и установок: машины и оборудование на промышленных предприятиях могут генерировать вибрации с уровнями 0,2–5 мм/с в зависимости от типа оборудования и его способа крепления на основание.

После землетрясения Чи-Чи на Тайване в 1999 году становится актуальной система сейсмической защиты высокотехнологичных производственных объектов. Сейсмоизоляция основания является одной из наиболее широко используемых и принятых систем сейсмической защиты. Сейсмоизоляция основания предполагает установку элементов, которые «отделяют» (за счёт повышения гибкости системы и/или демпфирования) надземную конструкцию и/или её содержимое от потенциально разрушительного землетрясения, вызванного движением грунта. В системах сейсмоизоляции применяют эластомерные, фрикционные или резинометаллические опоры, в том числе со свинцовым сердечником, для изменения основного тона колебаний конструкции [10]. Уже в апреле 2024 года после «Землетрясения 403» (землетрясение 3 апреля 2024 года) магнитудой  $M_w = 7,2$ , большинство полупроводниковых заводов сообщили о приостановке производства на время землетрясения, в том числе заводы по производству пластин, заводы по тестированию схем и заводы по производству панелей TFT-LCD [11]. Персонал был эвакуирован, а некоторые технологические

процессы в чистых помещениях зданий фабрик были остановлены. Эти заводы заявили, что весь персонал в безопасности и постепенно вернулся на свои рабочие места после окончания сейсмического события. Во время «Землетрясения 403» зафиксированное PGA (peak ground acceleration – пиковое ускорение в уровне земли) составило около 0,07 g (60 см/с<sup>2</sup>) – 0,1 g (98 см/с<sup>2</sup>). PFA (peak floor acceleration – пиковое ускорение в уровне этажа) технологической зоны на полах чистых помещений производственной зоны (зона «FAB») не превысило 0,15 g [12]. Это локальное ускорение, по-видимому, было недостаточно большим, чтобы преодолеть трение между оборудованием и его опорами. При таких ускорениях, даже в случае отсутствия антисейсмических мероприятий в оборудовании, землетрясение не вызвало их значительного смещения или повреждения.

#### Мероприятия по управлению динамическим состоянием объекта

Пассивные мероприятия по вибрационной защите, применяемые на высокотехнологичном объекте, обычно включают увеличение толщины фундаментной плиты, повышение её жёсткости и массы, в том числе за счёт устройства свайного основания или изменения характеристик грунтов основания. На основе комбинированного метода конечных элементов, граничных элементов и полуаналитического метода в работе [13] проведено численное исследование реакции тонких изгибаемых пластин, лежащих на упругом полупространстве, на вибрации, создаваемые гармоническим возбуждением и сделан вывод, что толщина плиты является доминирующим параметром в управлении уровнями вибрации. В работе [14] проведены полевые измерения и конечно-элементное прогнозирование в высокотехнологичной электронной лаборатории для изучения эффекта снижения вибрации на свайно-плитном фундаменте. Результаты показали, что свайно-плитный фундамент позволил обеспечить выполнение требований кривой VC-B (СКЗ виброскорости 25 мкм/с), показав общее положительное действие снижения на вибрации пола. Авторы в работе [15] проверили аналитическую модель прогнозирования колебаний грунта, выполнив вибрационные испытания на полномасштабном здании с плитным фундаментом. Эффекты снижения вибрации плит с различной толщиной были исследованы на основе модели прогнозирования. Вывод показал, что утолщённая плита может быть эффективной мерой для снижения внешних вибраций. В работе [16] изучена эффективность снижения вибрации различных типов плит с помощью измерений вибрации и обнаружена, что фундамент из свайной плиты показал лучшие результаты, чем фундамент из плиты на грунте, в снижении вертикальных колебаний, создаваемых внешними источниками возбуждения. В статье [17] описана серия численных исследований по снижению вибраций здания путём изменения характеристик грунтов основания в пределах сжимаемой толщи и обнаружена, что улучшение механических свойств грунта оказало большое влияние на уровень вибрации

в здании как для внешних, так и для внутренних источников вибрации. Сваи играют более важную роль в повышении несущей способности почвы, но использование большого объёма цементно-грунта, интегрированного с бетонной плитой, важно для ослабления вибраций, создаваемых внешними и внутренними источниками [18]. В работе [19] приведены результаты измерения вибрации в помещении центра прецизионной мехатроники, расположенного в 37 м от оси трамвайного пути. Для выполнения требований VC-C (СКЗ виброскорости 12,5 мкм/с) потребовалось устройство барьерного ограждения, выполненного из вибродемпфирующих материалов. Эффективность такого ограждения только по боковой поверхности подземной части здания оказалась достаточно высокой (до 20 дБ) вследствие того, что колебательные волны от наземных источников распространяются преимущественно в виде поверхностных волн Рэлея.

Для обеспечения единства подходов компанией Colin Gordon [28] были установлены обобщённые критерии – VC (vibration curves), которые представляют собой СКЗ виброперемещений в третьооктавной полосе со среднегеометрическими частотами от 1 до 100 Гц для различных классов оборудования.

Общее описание кривых и их предполагаемый метод использования таковы:

1) вибрация выражается в терминах её среднеквадратичной скорости (в отличие от смещения или ускорения). В различных исследованиях было обнаружено, что, хотя различные элементы оборудования (и люди) могут проявлять максимальную чувствительность на разных частотах (соответствующих внутренним резонансам), часто эти точки максимальной чувствительности лежат на кривой постоянной скорости;

2) использование пропорциональной полосы пропускания (полоса пропускания третьооктавы составляет 23% от центральной частоты полосы) в отличие от фиксированной полосы пропускания выбрано с учётом консервативного взгляда на внутреннее затухание типичных компонентов оборудования. Опыт показывает, что в большинстве сред в вибрации доминирует широкополосная (случайная) энергия, а не тональная (периодическая). В такой среде полоса измерения критически важна;

3) для того чтобы площадка соответствовала определённой категории оборудования, измеренный спектр виброскорости в третьооктавной полосе должен лежать ниже соответствующей критериальной кривой (рис. 1).

Предложенные в работе [28] VC-кривые (VC – vibration curves, то есть кривые предельно допускаемой вибрации) легли в основу стандарта ГОСТ Р ИСО/ТС 10811-2-2007<sup>1</sup> и приведены на рисунке 1. Эти критериальные кривые оборудования были разработаны на основе данных по отдельным элементам

<sup>1</sup> ГОСТ Р ИСО/ТС 10811-2-2007 «Вибрация и удар. Вибрация в помещениях с установленным оборудованием». Часть 2. Классификация (<https://vsegost.com/Catalog/44/44320.shtml>).

оборудования и из данных, полученных из измерений, проведённых на объектах до и после решения проблем, связанных с вибрацией. Кривые являются общими в том смысле, что они предназначены для применения к широко определённым классам оборудования и процессам. Они предназначены для применения к наиболее чувствительному оборудованию в каждой определённой категории.

Само название – «обобщённые», или «характерные», вибрационные кривые (англ. – generic vibration criteria) разработаны таким образом, что каждой кривой соответствует свой примерный размер обрабатываемой / исследуемой детали, приведённой в таблице 2. Размер деталей относится к ширине линий для производства микроэлектроники, размеру частиц (ячеек) для медицинских и фармацевтических исследований и т.д. Приведённые значения учитывают наблюдение, что требования к вибрации многих изделий зависят от размера деталей процесса.

Размеры деталей явно приближительны и зависят от степени сложности, используемой в структурном и изоляционном проектировании отдельного инструмента. Необходимо постоянно помнить о том, что дескрипторы кривых предназначены

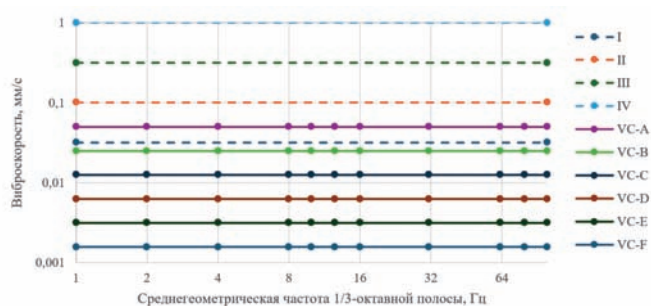


Рис. 1. Критерии допустимой вибрации. Автор визуализации В.А. Смирнов

для применения к наиболее чувствительным инструментам в каждой категории. Поскольку инструменты постоянно меняются и появляются новые типы оборудования, предел «наиболее чувствительного» – это, как было отмечено выше, постоянно изменяющийся параметр.

Поскольку VC-критерий, применяемый при проектировании несущего каркаса высокотехнологичных объектов, более жёсткий, чем предельные значения, установленные СанПин 1.2.3685-21<sup>2</sup> или ГОСТ Р 52892<sup>3</sup>, требуются изменения в общей парадигме выполнения расчётного обоснования (по 2 группе предельных состояний) и проектирования таких сооружений.

Как показывает накопленный на объектах-аналогах опыт, при проектировании и строительстве сооружений высокотехнологичных объектов следует выполнять следующий набор исследований и расчётов:

1) предварительные измерения уровней вибрации на различных площадках и в различных точках в пределах каждой из рассматриваемых площадок. Цель данного этапа – выбрать оптимальную площадку для строительства сооружения по критерию минимальных уровней вибрации, а в рамках такой площадки – месторасположение проектируемого сооружения;

2) исследования скоростей распространения продольных и поперечных волн по глубине (до 1,4 глубины подошвы фундамента) в габаритах участка строительства. Цель данного этапа – определение динамических характеристик грунта для последующего расчётного моделирования;

<sup>2</sup> СанПин 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (<https://docs.cntd.ru/document/573500115>).

<sup>3</sup> ГОСТ Р 52892-2007 «Вибрация и удар. Вибрация зданий. Измерение вибрации и оценка ее воздействия на конструкцию» (<https://vsegest.com/Catalog/47/47437.shtml>).

Таблица 2. Ориентировочное деление кривых по чувствительности оборудования

Кривая VC	СКЗ вибро-скорости, мкм/с	Размер исследуемого образца, мкм	Описание кривой
VC-A	50	8	В большинстве случаев подходит для оптических микроскопов с увеличением до 400X, микровесов, оптических весов, бесконтактных и проекционных выравнителей и т.д.
VC-B	25	3	Соответствующий стандарт для оптических микроскопов с увеличением до 1000X, контрольно-измерительного и литографического оборудования (включая степперы) с шириной линий до 3 мкм
VC-C	12,5	1	Хороший стандарт для большинства литографических и инспекционных приборов с размером деталей до 1 мкм
VC-D	6	0,3	Подходит в большинстве случаев для самого требовательного оборудования, включая электронные микроскопы (ПЭМ и СЭМ) и системы E-Beam, работающие на пределе своих возможностей
VC-E	3	0,1	Труднодостижимый критерий в большинстве случаев. Предполагается, что он достаточен для самых требовательных чувствительных систем, включая системы с длинным путём, лазерные, с малыми мишенями и другие системы, требующие исключительной динамической стабильности

3) проведение измерений уровней вибрации в выбранных точках в габаритах предполагаемого сооружения при движении заданных типов транспортных средств по существующим или проектируемым дорогам вблизи объекта. Зачастую для проведения таких измерений используют строительную технику общей массой более 15 т (рис. 2), а для симуляции неровностей дорожного полотна – деревянные бруски со стороной 40–50 мм;

4) модальный анализ конструктивных решений вертикальных и горизонтальных несущих конструкций для оценки их жесткостных характеристик и плотности форм собственных колебаний в зоне размещения высокоточного оборудования;

5) динамический расчёт для прогноза уровней вибрации в помещениях расположения высокоточного оборудования. В качестве внешнего воздействия могут быть использованы результаты измерений (1), (3), а уточнение характеристик параметров грунтов для модели – с учётом результатов (2). Метод выполнения динамического расчёта должен быть согласован со спектром внешнего воздействия и используемыми техническими решениями по виброизоляции. По результатам динамического расчёта определяют соответствие прогнозируемых значений уровней вибрации требованиям ВС-критериев. На рисунке 3 приведены результаты таких измерений для одного из объектов по выпуску микроэлектроники. Можно отметить нарушение требований критерия ВС-Е в диапазоне частот 3,5–6,3 Гц, что требует внесения изменения в расчётную схему сооружения;

6) разработка серии мероприятий по виброизоляции оборудования, несущих конструкций здания, отдельных элементов. При проектировании высокоточных производств наиболее оптимальным решением является дифференцированный подход по виброзащите, при котором под каждую группу воздействий разрабатывается своя отдельная система виброизоляции. Такой подход соответствует требованиям ГОСТ Р ИСО 14644-4-2002<sup>4</sup>. В итоговой модели необходимо отдельно проработать вопрос влияния различных систем виброизоляции друг на друга;

7) в процессе проектирования производится итерационный перерасчёт п. (5) и (6) в связи с изменением конструктивной схемы, требований к располагаемому оборудованию и наличию доступного виброактивного оборудования технологических или инженерных систем. На рисунке 4 показаны результаты модального анализа модели производственного комплекса с внесёнными в конструктивную систему здания изменениями;

8) непрерывный мониторинг вибрационной (или виброакустической – если такие параметры тоже являются критическими) обстановки на всех этапах возведения сооружения; от откопки котлована, возведения фундаментных конструкций, стен подземной части, устройства несущих конструкций на-

земной части. При выполнении такого мониторинга после очередного этапа строительства выполняют итерацию расчётов по (5) – (6) для оценки соответствия;

9) финальные измерения уровней вибрации в построенном сооружении после выполнения пусконаладочных работ на всех системах – для контроля фактической вибрационной



Рис. 2. Вибрационные измерения при движении тяжёлой строительной техники. Фото автора статьи

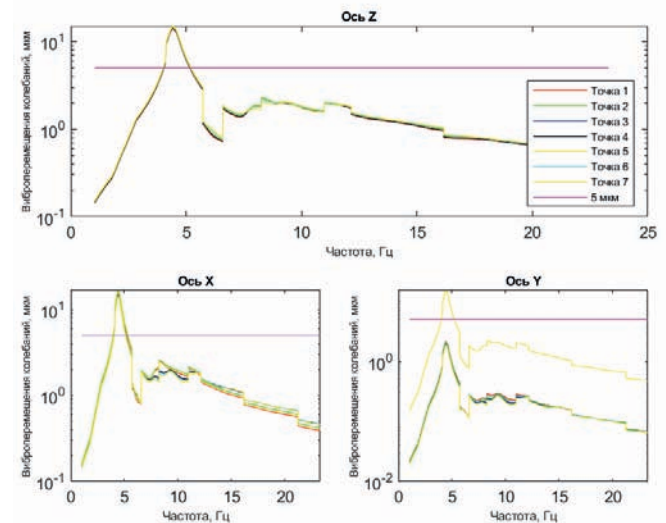


Рис. 3. Результаты динамического расчёта – виброперемещения точек на перекрытии помещений с размещением высокоточного оборудования. Рисунок автора статьи

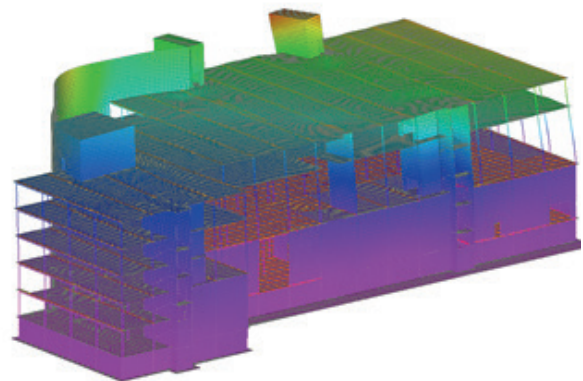


Рис. 4. Результаты модального анализа после внесённых изменений в модель. Рисунок автора статьи

<sup>4</sup> ГОСТ Р ИСО 14644-4-2002 «Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды». Часть 4. Проектирование, строительство и ввод в эксплуатацию (<https://vseghost.com/Catalog/64/6400.shtml>).

обстановки, оценки эффективности реализованных мероприятий по виброизоляции и подтверждения возможности установки высокоточного оборудования.

В НИУ МГСУ разработано специализированное прикладное программное обеспечение – SRA v1 (Signal Random Analysis), предназначенное для обработки результатов измерения вибрации по методике ГОСТ Р ИСО/ТС 10811-1-2007<sup>5</sup> с возможностью проведения оценки соответствия VC-кривым. В программе учтены описанные выше особенности проведения и оценивания таких измерений, не входящие в цитируемые нормативные документы.

На рисунке 5 приведены результаты обработки характерного спектра вибрации, полученного при измерениях на площадке будущего производства микроэлектроники (с требуемым уровнем VC-D).

На рисунке 5 приведены различные варианты оценивания полученного спектра – максимальный  $V_{max}$ , средний  $V_{mean}$ , а также различные статистические преобразования – среднее  $+ \sigma$  (среднеквадратическое отклонение), среднее  $+ 2\sigma$ , перцентиль 95% и 99%. Необходимость в таком подходе объясняется случайной природой внешнего воздействия, а также различным дальнейшим назначением полученных кривых. В частности, кривые ( $V_{mean} + \sigma$ ) используют для оценки уровней вибрации в местах расположения оборудования непосредственно перед его установкой; ( $V_{mean} + 2\sigma$ ) может быть использована для прогнозирования вибрационного воздействия в здании при выполнении расчётного обоснования и проектирования систем виброизоляции;  $V_{95}$  и  $V_{99}$  используют для оценки изменчивости вибрационного фона за время измерений, учёта характерных доминирующих гармоник в спектре и концептуального выбора мероприятий по обеспечению выполнения требований кривых VC в течение жизненного цикла сооружения.

## Выводы

В качестве заключения можно отметить, что требования к размещению высокоточного оборудования зависят от

<sup>5</sup> ГОСТ Р ИСО/ТС 10811-1-2007 «Вибрация и удар. Вибрация в помещениях с установленным оборудованием». Часть 1. Измерения и оценка (<https://docs.cntd.ru/document/1200063543>).

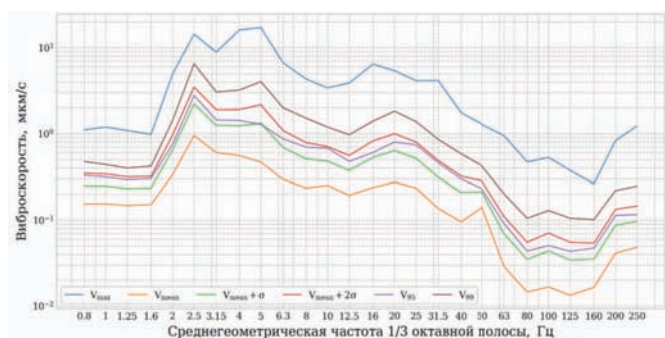


Рис. 5. Результаты обработки уровней вибрации в месте строительства. Рисунок автора статьи

типа и назначения помещений, а также точности обрабатываемой/изготавливаемой/исследуемой детали. В связи со спецификой данных производств и реализуемыми на них технологическими процессами, должны применяться более детализированные для получения адекватных исходных данных принципы и подходы к проектированию.

Решение задачи адекватного, своевременного проектирования и ввода в эксплуатацию высокоточных производств зависит от получения полного набора исходной информации, необходимой для принятия решений и выбора оптимальной концепции размещения высокоточных установок. Ключевым аспектом в этом являются натурные измерения вибрационного фона, которые должны производиться при выборе площадки строительства, подготовке проектной документации (в рамках проведения изысканий), в процессе строительства, при вводе сооружения в эксплуатацию, а также контрольные – спустя 20 месяцев после ввода в эксплуатацию. При проведении измерений следует учитывать случайный характер внешнего динамического воздействия, который проявляется в необходимости увеличения времени измерений, выборе специализированного измерительного оборудования и обработке сигналов для оценки его изменчивости в течение времени измерений.

## Список источников

1. Salyards, K.A. Review of Generic and Manufacturer Design Criteria for Vibration-Sensitive Equipment / K.A. Salyards, R.J.F. Iii. – Текст : электронный // Proceedings of the IMAC-XXVII, February 2009, Orlando, FL, USA. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/290846166\\_Review\\_of\\_generic\\_and\\_manufacturer\\_design\\_criteria\\_for\\_vibration-sensitive\\_equipment](https://www.researchgate.net/publication/290846166_Review_of_generic_and_manufacturer_design_criteria_for_vibration-sensitive_equipment) (дата обращения 11.10.2024).
2. Мондрус, В.Л. Виброзащита высокоточного оборудования от низкочастотных колебаний / В.Л. Мондрус, В.А. Смирнов. – EDN: 00EURP. – Текст : непосредственный // Академия. Архитектура и строительство. – 2011. – № 1. – С. 109–111.
3. Guo, A. Road Vehicle-Induced Vibration Control of Microelectronics Facilities / A. Guo, Y. Xu, L. Hui. – Текст : электронный // Earthquake Engineering and Engineering Vibration. – 2005. – № 4. – P. 139–151. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/225932291\\_Road\\_vehicle-induced\\_vibration\\_control\\_of\\_microelectronics\\_facilities](https://www.researchgate.net/publication/225932291_Road_vehicle-induced_vibration_control_of_microelectronics_facilities) (дата обращения 12.10.2024).
4. Gordon, C.G. Generic Criteria for Vibration-Sensitive Equipment / C.G. Gordon. – Текст : электронный // Proceedings of the SPIE, February 1999. – San Jose, CA, USA, 1992. – 193–5. – URL: <https://bilz-usa.com/wp-content/uploads/2015/03/Gordon-SPIE99.pdf> (дата обращения 16.10.2024).
5. Amick, H. Construction vibrations and their impact on vibration-sensitive facilities / H. Amick, M. Gendreau. – Текст : электронный // Proceedings of the Construction Congress VI, February 2000. – Orlando, FL, USA. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/254323005\\_Construction\\_](https://www.researchgate.net/publication/254323005_Construction_)

Vibrations\_and\_Their\_Impact\_on\_Vibration-Sensitive\_Facilities (дата обращения 16.10.2024).

6. *Смирнов, В.А.* Оценка воздействия вибрации на здания и сооружения в зоне влияния железной дороги / В.А. Смирнов, М.Ю. Савулиди, М.Ю. Смоляков. – Текст : непосредственный // Жилищное строительство. – 2022. – № 11. – С. 36–40.

7. Investigation of Ground Vibration of Full-Stone Foundation under Dynamic Compaction / J. Wu, L. Ma, J. Shi [et al.] // Shock and Vibration. – 2019. – № 11. – 2631797. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/336805290\\_Investigation\\_of\\_Ground\\_Vibration\\_of\\_Full-Stone\\_Foundation\\_under\\_Dynamic\\_Compaction](https://www.researchgate.net/publication/336805290_Investigation_of_Ground_Vibration_of_Full-Stone_Foundation_under_Dynamic_Compaction) (дата обращения 14.10.2024).

8. Vibration Characteristics of Heavy-Duty CNC Machine Tool-Foundation Systems / Y. Tian, Q. Shu, Z. Liu, Y. Ji. – Текст : электронный // Shock and Vibration. – 2018. – № 12. – 4693934. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/327890239\\_Vibration\\_Characteristics\\_of\\_Heavy-Duty\\_CNC\\_Machine\\_Tool-Foundation\\_Systems](https://www.researchgate.net/publication/327890239_Vibration_Characteristics_of_Heavy-Duty_CNC_Machine_Tool-Foundation_Systems) (дата обращения 16.10.2024).

9. *Ulgen, D.* Screening Effectiveness of Open And In-Filled Wave Barriers: a Full-Scale Experimental Study / D. Ulgen, O. Toygar. – Текст : электронный // Construction and Building Materials. – 2018. – № 6. – P. 12–20. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/274573346\\_Screening\\_effectiveness\\_of\\_open\\_and\\_in-filled\\_wave\\_barriers\\_A\\_full-scale\\_experimental\\_study](https://www.researchgate.net/publication/274573346_Screening_effectiveness_of_open_and_in-filled_wave_barriers_A_full-scale_experimental_study), <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.098>, 2-s2.0-84926367555 (дата обращения 16.10.2024).

10. *Naeim, F.* Design of Seismic Isolated Structures: from Theory to Practice / F. Naeim, J.M. Kelly. – New York : Wiley, 1999 – 304 p. – Текст : непосредственный.

11. Summary Report of Hualien Earthquake in Taiwan on April 3, 2024 / Chung-Che Chou, Chiun-Lin Wu, Juin-Fu Chai, George C. Yao ; first edition, v1.0. – Taiwan : NCREC, 2024.

12. *Sherin, Brian.* Taiwan's 921 Quake and What It Means to the Semiconductor Industry / Sherin Brian, Stacy J. Bartoletti. – CSP, EORM, Inc. and Stacy Bartoletti, PE, Degenkolb Engineers, 2000.

13. *Auersch, L.* Response to Harmonic Wave Excitation of Finite or Infinite Elastic Plates on a Homogeneous or Layered Half-Space / Auersch L. – Текст : электронный // Computers and Geotechnics. – 2013. – № 51. – P. 50–59. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/257099943\\_Response\\_to\\_harmonic\\_wave\\_excitation\\_of\\_finite\\_or\\_infinite\\_elastic\\_plates\\_on\\_a\\_homogeneous\\_or\\_layered\\_half-space](https://www.researchgate.net/publication/257099943_Response_to_harmonic_wave_excitation_of_finite_or_infinite_elastic_plates_on_a_homogeneous_or_layered_half-space) (дата обращения 18.10.2024).

14. Field Measurement and FE Prediction of Vibration Reduction due to Pile-Raft Foundation for High-Tech Workshop / G. Gao, J. Chen, J. Yang, Y. Meng. – Текст : электронный // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. – 2017. – № 101. – P. 264–268. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/319208354\\_Field\\_measurement\\_and\\_FE\\_prediction\\_of\\_vibration\\_reduction\\_due\\_to\\_pile-raft\\_foundation\\_for\\_high-tech\\_workshop](https://www.researchgate.net/publication/319208354_Field_measurement_and_FE_prediction_of_vibration_reduction_due_to_pile-raft_foundation_for_high-tech_workshop) (дата обращения 18.10.2024).

15. Measurement and Prediction of Train-Induced Vibrations in a Full-Scale Building / M. Sanayei, P. A. Kayiparambil, J. A. Moore, C. R. Brett. – Текст : электронный // Engineering Structures. – 2014. – № 77. – P. 119–128. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/264982222\\_Measurement\\_and\\_prediction\\_of\\_train-induced\\_vibrations\\_in\\_a\\_full-scale\\_building](https://www.researchgate.net/publication/264982222_Measurement_and_prediction_of_train-induced_vibrations_in_a_full-scale_building) (дата обращения 18.10.2024).

16. An Experimental Study of Vibration Attenuation Performance of Several On-Grade Slab Configurations / H. Amick, N. Wongprasert, J. Montgomery [et al.]. – Текст : электронный // Proceedings of the SPIE, August 2005. – USA Bellingham, WA. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/253215066\\_An\\_experimental\\_study\\_of\\_vibration\\_attenuation\\_performance\\_of\\_several\\_on-grade\\_slab\\_configurations](https://www.researchgate.net/publication/253215066_An_experimental_study_of_vibration_attenuation_performance_of_several_on-grade_slab_configurations) (дата обращения 20.12.2024).

17. *Persson, P.* Analysis of Vibrations in High-Tech Facility. / P. Persson. Lund, Sweden : Lund University, 2010. – Текст : непосредственный.

18. Engineering Challenges of Future Light Sources / R.T. Neuenschwander, L. Liu, S. R. Marques [et al.]. – Текст : электронный // Proceedings of the 6th International Particle Accelerator Conference, May 2015. – Richmond, VA, USA. – 1308–1313. – URL: <https://accelconf.web.cern.ch/IPAC2015/papers/tuxc2.pdf> (дата обращения 16.10.2024).

19. *Smirnov, V.* Basement Vibration Isolation Efficiency Investigation / V. Smirnov. – Текст : электронный // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. – 2020. – № 1. – P. 012020. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/343637058\\_Basement\\_vibration\\_isolation\\_efficiency\\_investigation?\\_tp=eyJjb250ZlXh0Ijp7ImZpcnNOUGFnZSI6InByb2Z2pbGUlLCJwYXWdlIjoicHJvZmlsZSJ9fQ](https://www.researchgate.net/publication/343637058_Basement_vibration_isolation_efficiency_investigation?_tp=eyJjb250ZlXh0Ijp7ImZpcnNOUGFnZSI6InByb2Z2pbGUlLCJwYXWdlIjoicHJvZmlsZSJ9fQ) (дата обращения 16.10.2024).

20. *Wee, B.V.* Environmental Effects of Urban Traffic / B.V. Wee // Gärling, T. and Steg, L. (ed.) «Threats from Car Traffic to the Quality of Urban Life». – Emerald Group Publishing Limited, Leeds, 2007. – P. 9–32. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/308570486\\_Environmental\\_Effects\\_of\\_Urban\\_Traffic\\_Problems\\_Causes\\_and\\_Solutions](https://www.researchgate.net/publication/308570486_Environmental_Effects_of_Urban_Traffic_Problems_Causes_and_Solutions) (дата обращения 18.10.2024). – Текст : электронный

21. Effect of Structural Design on Traffic-Induced Building Vibrations / P. Persson, L.V. Andersen, K. Persson, P. Bucinskas. – Текст : электронный // Procedia Engineering. – 2017. – № 199. – P. 2711–2716. – Article 66. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/319657189\\_Effect\\_of\\_structural\\_design\\_on\\_traffic-induced\\_building\\_vibrations](https://www.researchgate.net/publication/319657189_Effect_of_structural_design_on_traffic-induced_building_vibrations) (дата обращения 18.10.2024).

22. *Kovrova, V.* The Impact of Vibration on Buildings: Problems and Solutions / V. Kovrova, V. Volkova, L. Pakrastins. – Текст : непосредственный // E3S Web Conf. – 2024. – 534. – 01010. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/381324173\\_The\\_impact\\_of\\_vibration\\_on\\_buildings\\_Problems\\_and\\_solutions](https://www.researchgate.net/publication/381324173_The_impact_of_vibration_on_buildings_Problems_and_solutions) (дата обращения 16.10.2024).

23. Vibration Issues in Timber Structures: A State-of-the-art review / Angelo Aloisio, Dag Pasquale Pasca, Yuri De

Santis [et al.] – Текст : электронный // Journal of Building Engineering. – 2023. – Vol. 76. – 107098. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/371767168\\_Vibration\\_issues\\_in\\_timber\\_structures\\_A\\_state-of-the-art\\_review](https://www.researchgate.net/publication/371767168_Vibration_issues_in_timber_structures_A_state-of-the-art_review) (дата обращения 18.10.2024).

24. Rouillard, R. (2020) Using the Weibull Distribution to Characterise Road Transport Vibration Levels / V. Rouillard, M. Lamb. – Текст : электронный // Packaging Technology and Science. – 2020. – № 33 (7). – P. 255–266. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/340693129\\_Using\\_the\\_Weibull\\_distribution\\_to\\_characterise\\_road\\_transport\\_vibration\\_levels](https://www.researchgate.net/publication/340693129_Using_the_Weibull_distribution_to_characterise_road_transport_vibration_levels) (дата обращения 18.10.2024).

25. Kowalska-Koczwara, A. Impact of Selected Sources of Transport Vibrations on the Perception of Vibrations by People in Buildings / A. Kowalska-Koczwara. – DOI: 10.21595/vp.2019.20997. – Текст : электронный // Vibroengineering Procedia. – 2019. – Vol. 27. – P. 88–92. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/336143105\\_Impact\\_of\\_selected\\_sources\\_of\\_transport\\_vibrations\\_on\\_the\\_perception\\_of\\_vibrations\\_by\\_people\\_in\\_buildings](https://www.researchgate.net/publication/336143105_Impact_of_selected_sources_of_transport_vibrations_on_the_perception_of_vibrations_by_people_in_buildings) (дата обращения 16.10.2024).

26. Impact and Control of Environmental Vibration on Precision Instruments / Zheng Wei Gu, Tie Yi Zhong, Ming Bo Zhang, Kun; Zhang. – DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.50-51.120. – Текст : электронный // Applied Mechanics and Materials. – 2011. – Vols 50–51. – P. 120–124. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/253894093\\_Impact\\_and\\_Control\\_of\\_Environmental\\_Vibration\\_on\\_Precision\\_Instruments](https://www.researchgate.net/publication/253894093_Impact_and_Control_of_Environmental_Vibration_on_Precision_Instruments) (дата обращения 16.10.2024).

27. Measurement of Truck Transport Vibration Levels in China as a Function of Road Conditions, Truck Speed and Load Level / Zhou Ran, Yan Liping, Li Baiguoxie, Xie Jing. – DOI: 10.1002/PTS.2176. – Текст : электронный // Packaging Technology and Science. – 2015. – № 28 (11). – P. 949–957. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/282797290\\_Measurement\\_of\\_Truck\\_Transport\\_Vibration\\_Levels\\_in\\_China\\_as\\_a\\_Function\\_of\\_Road\\_Conditions\\_Truck\\_Speed\\_and\\_Load\\_Level](https://www.researchgate.net/publication/282797290_Measurement_of_Truck_Transport_Vibration_Levels_in_China_as_a_Function_of_Road_Conditions_Truck_Speed_and_Load_Level) (дата обращения 16.10.2024).

28. Gordon, Colin G. Generic Vibration Criteria for Vibration-Sensitive Equipment / Gordon Colin G. – Текст : непосредственный // Proceedings of International Society for Optical Engineering (SPIE) // Optics + Photonics. – 1999.

#### References

1. Salyards K. A. and Iii R.J. F., Review of Generic and Manufacturer Design Criteria for Vibration-Sensitive Equipment. In: *Proceedings of the IMAC-XXVII*, February 2009, Orlando, FL, USA. (In Engl.)

2. Mondrus V.L., Smirnov V.A. Vibrozashchita vysokotochnogo oborudovaniya ot nizkochastotnykh kolebaniy [Vibration Protection of High-Precision Equipment from low-Frequency Vibrations]. In: *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo [Academia. Architecture and Construction]*, 2011, no. 1, pp. 109–111. EDN: OOEURP. (In Russ., abstr. in Engl.)

3. Guo A., Xu Y., and Hui L., Road Vehicle-Induced Vibration Control of Microelectronics Facilities. In: *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 2005, no. 4, pp. 139–151. URL: [https://www.researchgate.net/publication/225932291\\_Road\\_vehicle-induced\\_vibration\\_control\\_of\\_microelectronics\\_facilities](https://www.researchgate.net/publication/225932291_Road_vehicle-induced_vibration_control_of_microelectronics_facilities) (Accessed 10/12/2024). (In Engl.)

4. Gordon C.G. Generic Criteria for Vibration-Sensitive Equipment. In: *Proceedings of the SPIE*, February 1992, San Jose, CA, USA, 193–5. URL: <https://bilz-usa.com/wp-content/uploads/2015/03/Gordon-SPIE99.pdf> (Accessed 10/16/2024). (In Engl.)

5. Amick H., Gendreau M. Construction Vibrations and Their Impact on Vibration-Sensitive Facilities. In: *Proceedings of the Construction Congress VI*, February 2000, Orlando, FL, USA. URL: [https://www.researchgate.net/publication/254323005\\_Construction\\_Vibrations\\_and\\_Their\\_Impact\\_on\\_Vibration-Sensitive\\_Facilities](https://www.researchgate.net/publication/254323005_Construction_Vibrations_and_Their_Impact_on_Vibration-Sensitive_Facilities) (Accessed 10/16/2024). (In Engl.)

6. Smirnov V.A., Savulidi M.Yu., Smolyakov M.Yu. Otsenka vozdeistviya vibratsii na zdaniya i sooruzheniya v zone vliyaniya zheleznoi dorogi [Assessment of the Impact of Vibration on Buildings and Structures in the Zone of Influence of the Railway]. In: *Zhilishchnoe stroitel'stvo [Housing Construction]*, 2022, no. 11, pp. 36–40. (In Russ., abstr. in Engl.)

7. Wu J., Ma L., Shi J., Sun Y., Ke J., and Wang D., Investigation of Ground Vibration of Full-Stone Foundation under Dynamic Compaction. In: *Shock and Vibration*, 2019, no. 11, 2631797. URL: [https://www.researchgate.net/publication/336805290\\_Investigation\\_of\\_Ground\\_Vibration\\_of\\_Full-Stone\\_Foundation\\_under\\_Dynamic\\_Compaction](https://www.researchgate.net/publication/336805290_Investigation_of_Ground_Vibration_of_Full-Stone_Foundation_under_Dynamic_Compaction) (Accessed 10/14/2024). (In Engl.)

8. Tian Y., Shu Q., Liu Z., and Ji Y., Vibration Characteristics of Heavy-Duty CNC Machine Tool-Foundation Systems. In: *Shock and Vibration*, 2018, no. 12, 4693934. URL: [https://www.researchgate.net/publication/327890239\\_Vibration\\_Characteristics\\_of\\_Heavy-Duty\\_CNC\\_Machine\\_Tool-Foundation\\_Systems](https://www.researchgate.net/publication/327890239_Vibration_Characteristics_of_Heavy-Duty_CNC_Machine_Tool-Foundation_Systems) (Accessed 10/16/2024). (In Engl.)

9. Ulgen D., Toygar O. Screening Effectiveness of Open and In-Filled Wave Barriers: a Full-Scale Experimental Study. In: *Construction and Building Materials*, 2015, no. 86, pp. 12–20. URL: [https://www.researchgate.net/publication/274573346\\_Screening\\_effectiveness\\_of\\_open\\_and\\_in-filled\\_wave\\_barriers\\_A\\_full-scale\\_experimental\\_study](https://www.researchgate.net/publication/274573346_Screening_effectiveness_of_open_and_in-filled_wave_barriers_A_full-scale_experimental_study), <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.098>, 2-s2.0-84926367555 (Accessed 10/16/2024). (In Engl.)

10. Naeim, F. and Kelly, J.M. (1999). Design of Seismic Isolated Structures: from Theory to Practice. Wiley, New York, 304 p. (In Engl.)

11. Chung-Che Chou, Chiun-Lin Wu, Juin-Fu Chai, George C. Yao. Summary Report of Hualien Earthquake in Taiwan on April 3, 2024 (first edition, v1.0), NCRE, Taiwan. (In Engl.)

12. Sherin Brian, Stacy J. Bartoletti. Taiwan's 921 Quake and What It Means to the semiconductor industry, Brian Sherin, CSP, EORM, Inc. and Stacy Bartoletti, PE, Degenkolb Engineers, 2000. (In Engl.)

13. Auersch L. Response to Harmonic Wave Excitation of Finite or Infinite Elastic Plates on a Homogeneous or Layered Half-Space. In: *Computers and Geotechnics*, 2013, no. 51, pp. 50–59. URL: [https://www.researchgate.net/publication/257099943\\_Response\\_to\\_harmonic\\_wave\\_excitation\\_of\\_finite\\_or\\_infinite\\_elastic\\_plates\\_on\\_a\\_homogeneous\\_or\\_layered\\_half-space](https://www.researchgate.net/publication/257099943_Response_to_harmonic_wave_excitation_of_finite_or_infinite_elastic_plates_on_a_homogeneous_or_layered_half-space) (Accessed 10/18/2024). (In Engl.)
14. Gao G., Chen J., Yang J., Meng Y. Field Measurement and FE Prediction of Vibration Reduction due to Pile-Raft Foundation for High-Tech Workshop. In: *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2017, no. 101, pp. 264–268. URL: [https://www.researchgate.net/publication/319208354\\_Field\\_measurement\\_and\\_FE\\_prediction\\_of\\_vibration\\_reduction\\_due\\_to\\_pile-raft\\_foundation\\_for\\_high-tech\\_workshop](https://www.researchgate.net/publication/319208354_Field_measurement_and_FE_prediction_of_vibration_reduction_due_to_pile-raft_foundation_for_high-tech_workshop) (Accessed 10/18/2024). (In Engl.)
15. Sanayei M., Kayiparambil P.A., Moore J.A., Brett C.R. Measurement and Prediction of Train-Induced Vibrations in a Full-Scale Building. In: *Engineering Structures*, 2014, no. 77, pp. 119–12. URL: [https://www.researchgate.net/publication/264982222\\_Measurement\\_and\\_prediction\\_of\\_train-induced\\_vibrations\\_in\\_a\\_full-scale\\_building](https://www.researchgate.net/publication/264982222_Measurement_and_prediction_of_train-induced_vibrations_in_a_full-scale_building) (Accessed 10/18/2024). (In Engl.)
16. Amick H., Wongprasert N., Montgomery J., Haswell P., Lynch D. An Experimental Study of Vibration Attenuation Performance of Several On-Grade Slab Configurations. In: *Proceedings of the SPIE*, August 2005. USA, Bellingham, WA. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/253215066\\_An\\_experimental\\_study\\_of\\_vibration\\_attenuation\\_performance\\_of\\_several\\_on-grade\\_slab\\_configurations](https://www.researchgate.net/publication/253215066_An_experimental_study_of_vibration_attenuation_performance_of_several_on-grade_slab_configurations) (Accessed 12/10/2024). (In Engl.)
17. Persson P. Analysis of Vibrations in High-Tech Facility. Lund, Sweden, Lund University, 2010 (In Engl.)
18. Neuenschwander R.T., Liu L., Marques S.R., Rodrigues A.R.D., Seraphim R.M. Engineering Challenges of Future Light Sources. In: *Proceedings of the 6th International Particle Accelerator Conference*, May 2015, Richmond, VA, USA, 1308–1313 URL: <https://accelconf.web.cern.ch/IPAC2015/papers/tuxc2.pdf> (Accessed 10/16/2024). (In Engl.)
19. Smirnov V. Basement vibration isolation efficiency investigation. In: IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., 2020, no. 1, pp. 012020. URL: [https://www.researchgate.net/publication/343637058\\_Basement\\_vibration\\_isolation\\_efficiency\\_investigation?\\_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnNOUGFnZSI6InByb2ZpbGUlLCJwYXWdlIjoicHJvZmlsZSJ9fQ](https://www.researchgate.net/publication/343637058_Basement_vibration_isolation_efficiency_investigation?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnNOUGFnZSI6InByb2ZpbGUlLCJwYXWdlIjoicHJvZmlsZSJ9fQ) (Accessed 10/16/2024). (In Engl.)
20. Wee B.V. Environmental Effects of Urban Traffic. In Gärling T., Steg L. (eds.): *Threats from Car Traffic to the Quality of Urban Life*. Emerald Group Publishing Limited, Leeds, pp. 9–32. URL: [https://www.researchgate.net/publication/308570486\\_Environmental\\_Effects\\_of\\_Urban\\_Traffic\\_Problems\\_Causes\\_and\\_Solutions](https://www.researchgate.net/publication/308570486_Environmental_Effects_of_Urban_Traffic_Problems_Causes_and_Solutions) (Accessed 10/18/2024). (In Engl.)
21. Persson P., Andersen L. V., Persson K., Bucinskas P. Effect of Structural Design on Traffic-Induced Building Vibrations. In: *Procedia Engineering*, 2017, no. 199, pp. 2711–2716, Article 66. URL: [https://www.researchgate.net/publication/319657189\\_Effect\\_of\\_structural\\_design\\_on\\_traffic-induced\\_building\\_vibrations](https://www.researchgate.net/publication/319657189_Effect_of_structural_design_on_traffic-induced_building_vibrations) (Accessed 10/18/2024). (In Engl.)
22. Kovrova V., Volkova V. and Pakrastins L. The Impact of Vibration on Buildings: Problems and Solutions. In: E3S Web Conf., 2024, 534, 01010. URL: [https://www.researchgate.net/publication/381324173\\_The\\_impact\\_of\\_vibration\\_on\\_buildings\\_Problems\\_and\\_solutions](https://www.researchgate.net/publication/381324173_The_impact_of_vibration_on_buildings_Problems_and_solutions) (Accessed 10/18/2024). (In Engl.)
23. Angelo Aloisio, Dag Pasquale Pasca, Yuri De Santis, Thomas Hillberger, Pier Francesco Giordano, Marco Martino Rosso, Roberto Tomasi, Maria Pina Limongelli, Chiara Bedon. Vibration Issues in Timber Structures: A state-of-the-art review. In: *Journal of Building Engineering*, Volume 76, 2023, 107098. URL: [https://www.researchgate.net/publication/371767168\\_Vibration\\_issues\\_in\\_timber\\_structures\\_A\\_state-of-the-art\\_review](https://www.researchgate.net/publication/371767168_Vibration_issues_in_timber_structures_A_state-of-the-art_review) (Accessed 10/18/2024).
24. Rouillard, Vincent and Lamb, Matthew (2020) Using the Weibull Distribution to Characterise Road Transport Vibration Levels. In: *Packaging Technology and Science*, 2020, no. 33 (7), pp. 255–266. ISSN 0894-3214 (Accessed 10/18/2024). (In Engl.)
25. A. Kowalska-Koczwara. Impact of Selected Sources of Transport Vibrations on the Perception of Vibrations by People in Buildings. In: *Vibroengineering Procedia*, 2019, vol. 27, pp. 88–92, Sep. 2019. DOI: 10.21595/vp.2019.20997. URL: [https://www.researchgate.net/publication/336143105\\_Impact\\_of\\_selected\\_sources\\_of\\_transport\\_vibrations\\_on\\_the\\_perception\\_of\\_vibrations\\_by\\_people\\_in\\_buildings](https://www.researchgate.net/publication/336143105_Impact_of_selected_sources_of_transport_vibrations_on_the_perception_of_vibrations_by_people_in_buildings) (Accessed 10/16/2024). (In Engl.)
26. Gu, Zheng Wei; Zhong, Tie Yi; Zhang, Ming Bo; Zhang, Kun. Impact and Control of Environmental Vibration on Precision Instruments. In: *Applied Mechanics and Materials*, 2011, Vols 50-51, pp. 120–124. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.50-51.120. URL: [https://www.researchgate.net/publication/253894093\\_Impact\\_and\\_Control\\_of\\_Environmental\\_Vibration\\_on\\_Precision\\_Instruments](https://www.researchgate.net/publication/253894093_Impact_and_Control_of_Environmental_Vibration_on_Precision_Instruments) (Accessed 10/16/2024). (In Engl.)
27. Ran Zhou, Liping Yan, Baiguo, Li, Jing, Xie. Measurement of Truck Transport Vibration Levels in China as a Function of Road Conditions, Truck Speed and Load Level. In: *Packaging Technology and Science*, 2015, no. 28 (11), 949–957. doi: 10.1002/PTS.2176. URL: [https://www.researchgate.net/publication/282797290\\_Measurement\\_of\\_Truck\\_Transport\\_Vibration\\_Levels\\_in\\_China\\_as\\_a\\_Function\\_of\\_Road\\_Conditions\\_Truck\\_Speed\\_and\\_Load\\_Level](https://www.researchgate.net/publication/282797290_Measurement_of_Truck_Transport_Vibration_Levels_in_China_as_a_Function_of_Road_Conditions_Truck_Speed_and_Load_Level) Accessed 10/16/2024). (In Engl.)
28. Gordon Colin G. Generic Vibration Criteria for Vibration-Sensitive Equipment. In: *Optics + Photonics* (In Engl.)