

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.151.110>

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ ВИБРОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Научная статья

Цыганов А.С.^{1,*}, Черкасов В.Д.²

^{1,2} Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарёва, Саранск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (andreytsyuganov[at]yandex.ru)

Аннотация

В статье исследуются вибропоглощающие свойства различных материалов, применяемых в современной строительной индустрии. Основное внимание уделено определению ключевых физических параметров материала, непосредственно влияющих на эффективность снижения вибраций, таких как коэффициенты потерь и модули упругости. В ходе работы проведён анализ влияния полиуретановых добавок и эпоксидных наполнителей на виброизоляционные характеристики материала. Результаты показывают, что правильный выбор добавок и их содержание могут значительно изменить эксплуатационные свойства материалов. На основании полученных данных сделаны выводы об эффективности применения тех или иных вибропоглощающих материалов в различных строительных конструкциях.

Ключевые слова: вибропоглощение, строительные полимеры, термоэластопласты, эпоксидные композиты, полиуретановые добавки.

APPLICATION OF POLYMERIC VIBRATION ABSORBING MATERIALS IN CONSTRUCTION

Research article

Tsiganov A.S.^{1,*}, Cherkasov V.D.²

^{1,2} National Research N. P. Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russian Federation

* Corresponding author (andreytsyuganov[at]yandex.ru)

Abstract

The article studies vibration-absorbing properties of various materials used in modern construction industry. The focus is on determining the key physical parameters of the material directly affecting the effectiveness of vibration reduction, such as loss coefficients and elastic moduli. The effect of polyurethane additives and epoxy fillers on the vibration isolation characteristics of the material is analysed. The results show that the correct choice of additives and their content can significantly change the performance properties of materials. On the basis of the obtained data, conclusions are made about the effectiveness of the use of certain vibration-absorbing materials in various building structures.

Keywords: vibration absorption, construction polymers, thermoplastic elastomers, epoxy composites, polyurethane additives.

Введение

Ввиду ускоряющейся урбанизации и, как следствие, увеличивающейся концентрации инфраструктуры на единицу площади, особенно актуальным становится вопрос о защите зданий и сооружений от воздействия вибрационных нагрузок.

Вибрации, создаваемые транспортными, строительными или промышленными комплексами, оказывают негативное воздействие на конструкции зданий. Эта проблема требует от специалистов разработки новых, а также доработки уже существующих эффективных материалов, способных как частично снизить, так и полностью устранить вибрационные воздействия [5].

Полимерные вибропоглощающие материалы (ПВМ) наиболее перспективное решение проблем с воздействием вибрации на строительные конструкции, а лёгкость, повышенная гибкость и возможность эксплуатации даже в самых агрессивных средах делают ПВМ особенно привлекательными для строителей во всем мире. Применение вибропоглощающих материалов положительно сказывается на эксплуатационной надёжности конструкции и, как следствие, увеличивает срок эксплуатации зданий и сооружений, что приобретает критическое значение в условиях плотной застройки современного мегаполиса [1], [6], [10], [11].

Актуальными проблемами при разработке ПВМ являются: выбор конкретных полимеров и добавок, а также определение оптимального состава [1], [9].

Цель настоящей статьи – изучить современные ПВМ, исследовать их основные физические свойства и определить наилучшие условия для их эксплуатации. Основное внимание уделено ключевым параметрам, определяющим эффективность вибропоглощения материалов, и разработке практических рекомендаций по их применению в различных конструкциях и условиях эксплуатации.

Методы и принципы исследования

Для определения свойств испытуемых материалов были применены следующие методы:

1) Динамический механический анализ (ДМА), используется для определения коэффициента потерь (η), обозначаемого в рамках текущего исследования как Кп. Этот метод основан на целенаправленном приложении к

образцу гармонической механической нагрузки малой амплитуды и измерении его деформационного отклика с привязкой к искусственно созданным температурным условиям. Испытания проводились в режиме трёхточечного изгиба, что позволяет эффективно оценивать вязкоупругие свойства материалов при изгибающих деформациях. Этот коэффициент характеризует способность изучаемого материала к рассеиванию энергии вибрации, и определяется как тангенс угла механических потерь ($\tan \delta$) через формулу (1):

$$K_{\Pi} = \tan \delta = E''/E' \quad (1)$$

где: E' и E'' – модули упругости и потерь, измеряемые в мегапаскалях (МПа).

Кроме того, эти же модули используются для полного описания вязкоупругих свойств материала, через поиск модуля комплексной упругости (E^*), который описывает общее сопротивление материала деформации при динамическом нагружении через формулу (2):

$$E^* = E' + iE'' \quad (2)$$

где: i – мнимая единица, равная $\sqrt{(-1)}$

Использование метода ДМА позволило не только получить значения модулей E' и E'' , но и рассчитать значение K_{Π} , эти показатели важны при проведении оценки демпфирующих свойств исследуемых материалов.

2) Метод свободных затухающих колебаний используется для определения логарифмического декремента затухания (δ), который, в свою очередь, применяется для альтернативного способа вычисления показателей коэффициента K_{Π} . Исследуемому образцу придавалось колебательное движение с известной начальной амплитудой, после чего колебания свободно затухали. Регистрация амплитуд колебаний, в зависимости от времени, позволяла построить осциллограмму затухания, при этом значение показателя δ вычислялось по формуле (3):

$$\delta = I(A_n/A_{n+1}) \quad (3)$$

где: A_n и A_{n+1} – амплитуды соседних колебаний.

Используя найденные значения (δ), осуществлялся поиск значений K_{Π} , для чего применялась формула (4):

$$K_{\Pi} = (2 \times \delta)/\pi \quad (4)$$

Одновременное использование сразу двух методов для поиска значений K_{Π} позволяет сравнивать полученные результаты и подтвердить их достоверность.

3) Для исследования коэффициента передачи вибраций ($K_{ПВ}$) используется метод вибрационных испытаний на электродинамическом вибростенде, в процессе которого образцы подвергаются гармоническим колебаниям в заданном диапазоне частот (при постоянном вибрационном ускорении). Отклик образца регистрируется с помощью акселерометров, установленных на поверхности образца. Искомый коэффициент вычислялся по формуле (5):

$$K_{ПВ} = 20 \times \log_{10}(A_{out}/A_{in}) \quad (5)$$

где: A_{in} и A_{out} – амплитуды входящей и выходящей вибраций.

Вычисление показателей данного коэффициента, по рассматриваемому методу, позволило количественно оценить эффективность материала в процессах, связанных со снижением амплитуды передаваемых вибраций, и определить его вибропоглощающие свойства.

4) Для высокоточного измерения амплитуд колебаний поверхности образцов используется метод лазерной интерферометрии. Этот бесконтактный оптический метод основан на интерференции лазерного излучения, отражённого от вибрирующей поверхности. Изменения фазы отражённого луча позволяют с высокой точностью определить амплитуды и частоты колебаний. Аналитическое исследование полученных частотных показателей проводится путём изучения зависимостей K_{Π} и $K_{ПВ}$ от текущей частоты возбуждения, выраженных формулами (6) и (7):

$$K_{\Pi} = (f) \quad (6)$$

$$K_{ПВ} = (f) \quad (7)$$

Где f – частота возбуждения.

Максимальные значения $K_{\Pi}(f)$ показывают частоты, на которых исследуемый материал наиболее эффективно рассеивает энергию вибрации, преобразуя её в тепловую энергию. В то же самое время минимальные значения $K_{ПВ}(f)$ свидетельствуют о частотах, при которых материал наиболее эффективно снижает уровень передаваемых вибраций. Использование этого метода позволило определить оптимальные диапазоны частот, при которых исследуемые материалы проявляют наилучшие вибропоглощающие свойства, что важно для их применения в условиях конкретных эксплуатационных нагрузок.

5) Для изготовления образцов, в рамках предусмотренных вышеописанными методами испытаний, было решено использовать метод литья под давлением. В его основе лежит инжекция расплавленного полимера в форму под высоким давлением, что обеспечивает получение изделий с заданной геометрией и однородной структурой.

Одновременное применение всех вышеописанных методов, в рамках одного исследования, обеспечило комплексную оценку вязкоупругих и вибрационных свойств полимерных материалов.

В процессе изучения доступных научных источников, посвящённых тематике ПВМ, в частности, вопросам оптимального соотношения наполнителей в полимерах и подбору наиболее популярных материалов, был выработан следующий ряд принципов, опираясь на которые осуществлялся отбор ВПМ для дальнейшего исследования:

- Принцип прагматичности, который выражается в ориентации на строительную отрасль, где все исследуемые разновидности ВПМ должны широко применяться, благодаря своим отдельным характеристикам, что делает текущее

исследование не просто очередным теоретическим изысканием, а фактическим ответом на реальный запрос отечественной строительной индустрии.

- Принцип разнообразия, поскольку акцент делался на широте охвата внутренних механизмов вибропоглощения, присущих каждому из отобранных для исследования материалов (от эластичного полибутадиена до жёстких эпоксидных композитов). Это открывает возможность для комплексного анализа процессов диссипации энергии и выявления закономерностей, связывающих структуру полимера с его вибропоглощающими характеристиками. Включение вязкоупругого ПВМ обогащает существующие различия и добавляет ещё один важный аспект в общую картину.

- Нельзя не отметить и принцип адаптивности, реализованный через возможность модификации свойств отобранных полимеров путём введения различных добавок. Это не просто расширяет горизонты исследования, но и предоставляет инструменты для создания материалов с заданными вибропоглощающими характеристиками, изначально ориентированных под конкретные технические задачи.

- Многообразие физико-механических свойств, присущих различным материалам, относящимся к категории ВПМ, можно назвать ещё одним принципом, по которому был сформирован именно такой набор материалов. Широкие диапазоны значений модулей потерь и упругости, при проявлении оптимальных вибропоглощающих качеств у выбранных полимеров, а также различные периоды и условия стеклования, обеспечивают достаточную статистическую базу для выявления зависимостей между структурой материала и его способностью подавлять вибрации.

- Учёт эффективности в разных частотных диапазонах, от низких у полибутадиена, и до высоких у эпоксидных композитов и термоэластопластов, делает исследование всеобъемлющим, применимым к большому спектру реальных условий эксплуатации, где динамические нагрузки могут варьироваться в достаточно широких пределах.

Как результат опоры на вышеописанные принципы, для проведения лабораторных испытаний были выбраны несколько типов полимеров, обладающих перспективными вибропоглощающими свойствами, которые представлены следующим рядом материалов:

- Полибутадиен (С4Н6)_n, хорошо известный своей высокой эластичностью и способностью к эффективному поглощению низкочастотных вибраций.

- Поливинилхлорид (ПВХ) (С2Н3Сl)_n, популярный в строительстве материал, устойчивый к внешним условиям.

- Композиционные материалы на основе эпоксидных смол, усиленных стекловолокном, поглощающие вибрации в широком спектре частот.

- Термоэластопласты с добавками полиуретана, которые обеспечивают уникальную комбинацию гибкости и стойкости к деформациям.

Основные результаты

Перед началом практических исследований ПВМ на лабораторном оборудовании необходимо было решить задачу изготовления конкретных образцов. Эта задача решалась посредством организации процесса литья под давлением на термопластавтомате, модели Arburg Allrounder 370 S 700-290, который позволил добиться высокой точности и воспроизводимости создаваемых образцов. Каждый полимер, при своём изготовлении, подразумевал наличие неких специфических условий, в частности температура расплава варьировалась от 180 до 220°C, а давление впрыска выставлялось в диапазоне от 50 до 80 МПа, при этом время выдержки под давлением составляло от 10 до 20 секунд. Была предусмотрена предварительная сушка гранул при 80°C в вакуумном шкафу, в течение 4 часов, что служило своеобразной гарантией отсутствия влияния влаги на будущие результаты экспериментов. После изготовления все образцы на двое суток отправлялись на хранение при комнатной температуре (23±2°C) и относительной влажности (50±5%), достигая состояния полной стабилизации перед предстоящими испытаниями.

Для определения значений К_p образцы подвергались испытанию методом свободных затухающих колебаний. Консольно закреплённые образцы, подобно камертонам, принудительно отклонялись от положения равновесия и начинали колебаться, при этом высокоточный лазерный виброметр, модели Polytec CLV-2534, фиксировал малейшие нюансы затухающих колебаний. Полученные осциллограммы, при помощи формулы (6) позволили определить значение логарифмического декремента затухания, который, в свою очередь, помещался в формулу (7) для нахождения показателя К_p. Для каждого материала проводилась серия из пяти и более испытаний, чтобы получить статистически достоверное среднее значение.

Анализатор ДМА, модели NETZSCH DMA 242 E Artemis, позволил открыть новые грани в понимании свойств исследуемых материалов. В режиме трёхточечного изгиба образцы подвергались деформации с частотой 1 Гц и амплитудой 20 мкм. Температура плавно поднималась от -50 до +100°C со скоростью 2°C/мин. Прибор фиксировал силу текущего воздействия на образец и параметры его перемещение, позволяя рассчитать модули E' и E'' с привязкой к температурным показателям. Опираясь на полученные значения и используя формулу (1), проводился поиск показателя К_p и сравнивался со значениями, полученными в ходе ранее описанного испытания.

Электродинамический вибростенд модели Bruel & Kjaer LDS стал инструментом для исследования вибропоглощения в широком диапазоне частот – от 20 до 2000 Гц. Образцы, закреплённые на платформе вибростенда, подвергались воздействию синусоидального сигнала с постоянным виброускорением 1G (9.8 м/с²), при этом пьезоэлектрический акселерометр, расположенный в центре образца, считывал амплитуду колебаний. В процессе испытания поддерживался шаг в 10 Гц, что позволило детально исследовать амплитудно-частотные характеристики (АЧХ), раскрывая эффективность поглощения вибраций образцами на каждой частоте.

Для лабораторных испытаний были подготовлены несколько образцов каждого вида, что позволило обеспечить максимальную объективность результатов, которые отображены в таблице 1.

Таблица 1 - Образцы подготовленные для исследования

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.151.110.1>

Основа образца	Наполнители	Размеры образца
Полибутадиен (С4Н6)n	сферические частицы стеклянных микросфер с удельной поверхностью примерно 45 м ² /г	Размеры образцов варьировались от 10 до 15 см в диаметре и имели толщину около 5 мм
Поливинилхлорид (С2Н3Сl)n	минеральные частицы каолина и графита	Изготавливались пластины размером 20 x 20 см с толщиной 2 мм
Композиционные материалы на основе эпоксидных смол	стекловолоконные волокна	Пластины размером 30 x 30 см и толщиной 8 мм
Термоэластопласты с добавками полиуретана	Карбонадные и силикатные частицы	Образцы представляли собой листы размером 25 x 25 см, толщиной около 3 мм

Все запланированные испытания проводились в контролируемых лабораторных условиях. Температура в помещении поддерживалась в диапазоне 20±2°C, а относительная влажность колебалась на уровне 50±5%. Каждое испытание проводилось несколько раз, при этом образцы также подвергались циклическим испытаниям, чтобы оценить изменение их свойств после многократного воздействия вибрации.

Ключевую роль в эффективности ПВМ играет вязкоупругий слой, где изучаемые демпферные характеристики зависят от используемого типа полимерной матрицы. Для ПВМ важно соблюдать диапазон температуры стеклования, который непременно должен совпадать с предполагаемыми условиями эксплуатации создаваемого материала, при этом не менее критичным параметром является высокая устойчивость к агрессивным средам, поскольку именно от степени химической инертности зависит общая долговечность используемых на строительных объектах материалов, особенно в случае отверждаемых, непосредственно в процессе применения, материалов [2], [4], [9].

Точное определение оптимального содержания наполнителей в полимерных композитах является задачей, требующей пристального внимания. В зависимости от концентрации наполнителя ПВМ подразделяются на малонаполненные, где концентрация наполнителя колеблется в диапазоне от 0 до 35% общего объема, и высоконаполненные, к которым относятся концентрации, превышающие порог 35% [3], [8].

При выборе наполнителя учитывается его активность, которая влияет на взаимодействие с полимерной матрицей. Сами наполнители классифицируются как инертные, у которых удельная поверхность менее 10 м²/г, и активные, у которых показатель удельной поверхности превышает 60 м²/г, все остальные значения, находящиеся между этими значениями, относятся к промежуточному, полуактивному классу [5], [7].

Конечная оценка активности наполнителей осуществляется только экспериментально, так как их взаимодействие с конкретными видами полимеров может существенно отличаться от справочных величин. В процессе создания ПВМ этот показатель особенно важен, поскольку активные поверхности преобразуют матричную структуру полимера, а это, в свою очередь, оказывает заметное влияние на его виброакустические характеристики [6], [10].

В результате проведенных лабораторных испытаний были получены параметры (таблица 2), характеризующие вибропоглощающие свойства выбранных образцов полимеров, коэффициенты потерь (Кп) и передачи вибраций (Кпв), а также модули упругости и потерь (E' и E''), и частотные показатели, при этом в расчёт принимались только те диапазоны частот, в которых образцы демонстрировали наилучшие свойства исследуемых полимеров.

Таблица 2 - Результаты лабораторных испытаний образцов ПВМ

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.151.110.2>

Испытываемый образец	Коэффициент		Модуль упругости (E') МПа	Модуль потерь (E'') МПа	Частотные показатели, (диапазон лучших свойств) Гц
	потерь (η)	передачи вибраций дБ			
Полибутадиен	0,35	5	3,5	0,8	100-500
Поливинилхлорид	0,15	15	2,0	0,3	250-420
Композит на основе ЭС	0,25	10	4,5	1,2	150-600
ТЭП с полиуретаном	0,40	7	3,0	1,9	180-550

Опираясь на результаты, можно сделать определённые выводы по каждому исследованному образцу:

- Полибутадиен продемонстрировал высокий показатель K_p и самый низкий показатель K_{pv} , что соответствует теоретическим ожиданиям. Этот материал может использоваться для поглощения низкочастотных вибраций. Материалы на его основе подходят для использования в качестве антивибрационных подложек под фундаменты или стационарное оборудование.

- Показатели ПВХ говорят о достаточно ограниченной эффективности этих материалов в решении вопросов виброизоляции. Несмотря на это, ПВХ остаётся востребованным в строительстве, поскольку он может быть использован для покрытия стен и полов в тех помещениях, где нужна дополнительная защита от влаги и химических повреждений.

- Композиты на основе эпоксидной смолы показали самые сбалансированные результаты из всех образцов, что позволяет говорить об их высокой прочности и достаточно средних вибропоглощающих характеристиках. Подобный набор свойств подходит при изготовлении панелей для стен и перекрытий, требующих значительной устойчивости к динамическим нагрузкам.

- Термоэластопласты с полиуретаном продемонстрировали лучшие показатели среди испытанных образцов, что говорит о высокой эффективности поглощения вибраций. Подобные свойства делают эти материалы востребованными практически во всех отраслях промышленности в качестве ПВМ.

Обсуждение

В проведенном эксперименте были определены и измерены свойства ПВМ, оказывающие непосредственное влияние на вибропоглощающие свойства материалов:

- K_p (η). Позволяет выявить способность материала преобразовывать энергию вибрации в тепло, что чрезвычайно важно для снижения вибрационного воздействия на конструкции.

- Модули упругости и потерь (E' и E''). Позволяют выявить текущую жёсткость материала и его способность рассеивать вибрационную энергию, что помогает делать выводы о способности исследуемого материала к сохранению изначальной структурной целостности при воздействии вибрационных нагрузок различной интенсивности.

- Частотные характеристики. Позволяют изучать способность исследуемых образцов эффективно работать на определённых частотах вибрации, что крайне важно для принятия решений о применении тех или иных материалов в реальных строительных условиях.

Кроме того, в процессе исследования, было установлено, что полиуретановые добавки позволили улучшить показатели K_p в термоэластопластах. Вместе с тем, самые сбалансированные показатели были продемонстрированы эпоксидными смолами с наполнителями, которые одинаково хорошо работают как в качестве прочностных элементов конструкций, так и в качестве виброизоляторов [1], [5].

На основании проведённого анализа можно выдвинуть следующий ряд рекомендаций:

1. При наличии низкочастотных вибраций в качестве ПВМ лучше всего использовать полибутадиены с оптимальными добавками и наполнителями. Правильный подбор определённых наполнителей позволяет адаптировать материал под конкретную специфику нагрузки и вибрационных характеристик оборудования. К тому же применение полибутадиенов, в сочетании с правильно подобранными наполнителями, позволяет создавать более надёжные и долговечные конструкции, способные выдерживать эксплуатационные нагрузки в течение длительного времени.

2. Если возникают проблемы связанные с необходимостью повышения прочности и долговечности строительных конструкций, таких, например, как железобетонные перекрытия, где требуется максимальная устойчивость к динамическим нагрузкам и одновременно требуется гасить возникающие вибрации, следует обратить внимание на композитные полимеры, созданные на основе эпоксидных смол. Вместе с тем, подобные композиты обладают отличной стойкостью к химическим воздействиям и неблагоприятным климатическим условиям, что делает их идеальными для использования в сложных эксплуатационных реалиях.

3. В тех случаях, когда необходимо защищаться от вибраций средней или высокой частоты, лучше всего использовать в качестве ПВМ термоэластопласты с полиуретаном и специальными добавками. Индивидуализация состава позволяет адаптировать материалы под специфические требования отдельно взятых проектов.

4. В тех случаях, когда ожидается воздействие химически агрессивной среды, в том числе для случаев постоянной повышенной влажности, лучше всего воспользоваться ПВХ, при этом, ввиду достаточно скромных показателей виброзащиты, его можно применять в составе комплексной защиты, где ему отводится роль внешнего, защитного слоя.

Заключение

Исследование, отражённое в рамках текущей статьи, позволило получить комплексное представление о современных ПВМ и их применении в строительной отрасли. В ходе работы были изучены физические свойства, определяющие эффективность ПВМ, такие как коэффициенты потерь и передачи вибраций, модули упругости и потерь, а также различные частотные характеристики.

Результаты лабораторных испытаний показали, что каждый исследованный материал обладает уникальным набором свойств. Полибутадиен продемонстрировал высокую эффективность в поглощении низкочастотных вибраций, что делает его идеальным ПВМ для использования в фундаментах и подложках под тяжёлое оборудование. Композиты на основе эпоксидных смол показали сбалансированные характеристики прочности и вибропоглощения, что позволяет рекомендовать их для изготовления конструктивных элементов, требующих устойчивости к динамическим нагрузкам. В свою очередь, термоэластопласты, с добавками полиуретана, проявили наилучшие вибропоглощающие свойства в широком диапазоне частот, что делает их универсальным решением для различных строительных задач.

Важным результатом исследования стало подтверждение того факта, что существует значительное влияние наполнителей и добавок на текущие свойства отдельно взятого ПВМ. Было установлено, что путем правильного подбора состава можно существенно улучшить вибропоглощающие характеристики материалов, адаптируя их под конкретные условия эксплуатации. Опираясь на полученные данные, удалось разработать целый ряд практических рекомендаций по применению ПВМ различных типов, с учётом специфики конкретных строительных задач и ожидаемых вибрационных нагрузок. Эти рекомендации могут служить справочным руководством для инженеров и проектировщиков при подборе оптимальных материалов для виброзащиты зданий и сооружений в новых проектах. В целом, полученные результаты подчёркивают важность применения современных ПВМ в строительстве как для повышения надёжности возведённых сооружений, так и для увеличения их долговечности, при этом в случае с жилым или офисным фондом, следует говорить и о комфортности человека при нахождении в зданиях.

В процессе исследования удалось выявить ряд потенциально перспективных направлений для дальнейших тематических изысканий, в частности, представляется достаточно важным глубокое погружение в процесс изучения различных аспектов влияния отдельных типов наполнителей на свойства полимеров, особенно при решении задач связанных с наличием избыточных вибраций. Отдельно следует подчеркнуть, что дальнейшее развитие технологий производства и применения ПВМ открывает широкие возможности по созданию более безопасных и комфортных для проживания городских пространств. Это направление исследований имеет значительный потенциал для инноваций и при должном внимании со стороны исследователей внесёт ощутимый вклад в общий ход развития строительной отрасли.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

- Сагомонова В.А. Исследование демпфирующих свойств вибропоглощающих материалов на основе термоэластопластов / В.А. Сагомонова, Ю.В. Сытый, В.И. Кислякова [и др.] // *Авиационные материалы и технологии*. — 2014. — № S3. — С. 5–10. — EDN: TBVRJH.
- Злотников И.И. Исследование механических и адгезионных свойств композиционных материалов на основе эпоксидной смолы и силикатных наполнителей / И.И. Злотников, О.И. Проневич, А.И. Кравченко [и др.] // *Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого*. — 2020. — № 2 (81). — С. 46–51. — EDN: BRRLOA.
- Конторов А.М. Использование полимеров для защиты бетона / А.М. Конторов, А.Ю. Глущенко // *Актуальные исследования*. — 2023. — № 52-1(182). — С. 79–93. — EDN: OIKMFG.
- Сайфуллаева Г.И. Методика получения композиционных образцов на основе терморезистивных фурано-эпоксидных полимеров и органоминеральных наполнителей / Г.И. Сайфуллаева, С.С. Негматов, Н.С. Абед [и др.] // *Universum: технические науки*. — 2021. — № 1-1 (82). — С. 42–45. — EDN: GKSNCNS.
- Огородов Ю.Т. Влияние вибрации на организм человека / Ю.Т. Огородов, В.О. Агаев, И.С. Волотов // *Научный альманах*. — 2022. — № 9-2 (95). — С. 37–42. — EDN: GPDVJQ.
- Суворова А.А. Полимерные материалы строительного назначения / А.А. Суворова // *Экономика строительства*. — 2023. — № 11. — С. 222–225. — EDN: OHNCHN.
- Черкасов В. Комбинированные вибропоглощающие покрытия / В. Черкасов, Д. Черкасов, М. Тюркин // *Русский инженер*. — 2021. — № 3 (72). — С. 47–48. — EDN: IPGSHH.
- Шаравара А.М. Мембраны на основе ПВХ, применяемые в строительстве / А.М. Шаравара, И.А. Христофорова // *Химия. Экология. Урбанистика*. — 2019. — Т. 2. — С. 441–445. — EDN: ZXTTBJ.
- Шеянов Д.А. Методы регулирования вибропоглощающих свойств полимерных материалов / Д.А. Шеянов // *Научный аспект*. — 2024. — Т. 43. — № 1. — С. 5615–5621. — EDN: GRXNVQ.
- Шлеенко А.В. Особенности применения полимеров в строительстве / А.В. Шлеенко, Д.А. Бредихин // *БСТ: Бюллетень строительной техники*. — 2023. — № 3 (1063). — С. 26–28. — EDN: PPUSQR.
- Языев Б.М. Применение полимеров в строительстве / Б.М. Языев, И.А.А. Аль-Вали, М.А.Х. Аль-Хадж // *StudNet*. — 2021. — Т. 4. — № 1. — С. 52. — EDN: OFTKNN.

Список литературы на английском языке / References in English

- Sagomonova V.A. Issledovanie dempfirujushhih svojstv vibropogloshhajushhih materialov na osnove termoelastoplastov [Investigation of the Damping Properties of Vibration-Damping Materials Based on Thermoelastic Plastics] / V.A. Sagomonova, Ju.V. Sytyj, V.I. Kisljakova [et al.] // *Aviacionnye materialy i tehnologii [Aviation Materials and Technologies]*. — 2014. — № S3. — P. 5–10. — EDN: TBVRJH. [in Russian]
- Zlotnikov I.I. Issledovanie mehanicheskikh i adgezionnyh svojstv kompozicionnyh materialov na osnove jepoksidnoj smoly i silikatnyh napolnitelej [Study of Mechanical and Adhesive Properties of Composite Materials Based on Epoxy Resin and Silicate Fillers] / I.I. Zlotnikov, O.I. Pronevich, A.I. Kravchenko [et al.] // *Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo*

tehnicheskogo universiteta im. P.O. Suhogo [Bulletin of the Gomel State Technical University named after P.O. Sukhoi]. — 2020. — № 2 (81). — P. 46–51. — EDN: BRRLOA. [in Russian]

3. Kontorov A.M. Ispol'zovanie polimerov dlja zashhity betona [Use of Polymers for Concrete Protection] / A.M. Kontorov, A.Ju. Glushhenko // Aktual'nye issledovanija [Current Research]. — 2023. — № 52-1(182). — P. 79–93. — EDN: OIKMFG. [in Russian]

4. Sajfullaeva G.I. Metodika poluchenija kompozicionnyh obrazcov na osnove termoreaktivnyh furano-jepoksidnyh polimerov i organomineral'nyh napolnitelej [Methodology for Obtaining Composite Samples Based on Thermosetting Furano-Epoxy Polymers and Organo-Mineral Fillers] / G.I. Sajfullaeva, S.S. Negmatov, N.S. Abed [et al.] // Universum: tehnicheckie nauki [Universum: Technical Sciences]. — 2021. — № 1-1 (82). — P. 42–45. — EDN: GKSNCSS. [in Russian]

5. Ogorodov Ju.T. Vlijanie vibracii na organizm cheloveka [The Impact of Vibration on the Human Body] / Ju.T. Ogorodov, V.O. Agaev, I.S. Volotov // Nauchnyj al'manah [Scientific Almanac]. — 2022. — № 9-2 (95). — P. 37–42. — EDN: GPDVJQ. [in Russian]

6. Suvorova A.A. Polimernye materialy stroitel'nogo naznachenija [Polymeric Materials for Construction Applications] / A.A. Suvorova // Jekonomika stroitel'stva [Construction Economics]. — 2023. — № 11. — P. 222–225. — EDN: OHHCHN. [in Russian]

7. Cherkasov V. Kombinirovannye vibropogloshhajushhie pokrytija [Combined Vibration-Damping Coatings] / V. Cherkasov, D. Cherkasov, M. Tjurjakin // Russkij inzhener [Russian Engineer]. — 2021. — № 3 (72). — P. 47–48. — EDN: IPGSHH. [in Russian]

8. Sharavara A.M. Membrany na osnove PVH, primenjaemye v stroitel'stve [Membranes Based on PVC Used in Construction] / A.M. Sharavara, I.A. Hristoforova // Himija. Jekologija. Urbanistika [Chemistry. Ecology. Urbanistics]. — 2019. — Vol. 2. — P. 441–445. — EDN: ZXTTBJ. [in Russian]

9. Shejanov D.A. Metody regulirovanija vibropogloshhajushhih svojstv polimernykh materialov [Methods for Regulating the Vibration-Damping Properties of Polymeric Materials] / D.A. Shejanov // Nauchnyj aspekt [Scientific Aspect]. — 2024. — Vol. 43. — № 1. — P. 5615–5621. — EDN: GRXNVQ. [in Russian]

10. Shleenko A.V. Osobennosti primenenija polimerov v stroitel'stve [Features of the Use of Polymers in Construction] / A.V. Shleenko, D.A. Bredihin // BST: Bjulleten' stroitel'noj tehniki [BST: Bulletin of Construction Technology]. — 2023. — № 3 (1063). — P. 26–28. — EDN: PPUSQR. [in Russian]

11. Jazyev B.M. Primenenie polimerov v stroitel'stve [Application of Polymers in Construction] / B.M. Jazyev, I.A.A. Al'-Vali, M.A.H. Al'-Hadzh // StudNet. — 2021. — Vol. 4. — № 1. — P. 52. — EDN: OFTKNN. [in Russian]