

ISSN 2091-5527
№ 2/2025

Ўзбекистон

Kompozitsion **M**ateriallar

Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali



Ўзбекский научно-технический и производственный журнал
Композиционные материалы

КЛЮЧЕВЫЕ АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ НОВЫХ АКУСТИЧЕСКИХ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ

Абед Н.С.

Государственное учреждение «Фан ва тараккиёт» при ТГТУ им. И. Каримова

Аннотация. Современные требования к комфорту и безопасности в жилых, промышленных и транспортных помещениях постоянно растут, что стимулирует поиск новых, более эффективных и экологически чистых акустических материалов. Традиционные звукоабсорбирующие и звукоизолирующие материалы часто изготавливаются из синтетических полимеров, таких как минеральная вата, стекловолокно и пенополистирол, которые не поддаются биологическому разложению и могут представлять угрозу для здоровья человека и окружающей среды. В связи с этим всё большую популярность приобретают экологически чистые звукоабсорбирующие материалы на основе растительного сырья и биоразлагаемых полимеров. Традиционные методы проектирования таких материалов, как правило, основаны на эмпирическом подходе и требуют большого количества дорогостоящих экспериментов. Однако с развитием машинного обучения (ML) появляются новые возможности для оптимизации этого процесса, что позволяет быстрее и эффективнее создавать материалы с заданными акустическими характеристиками. В работе проанализированы современные тенденции в выборе компонентной базы, технологий и исследовательских подходов при создании новых акустических материалов.

Ключевые слова: акустические композитные материалы, звукопоглощение, пористые композиты, акустические показатели, виброакустическое исследование композитов.

Введение. *Экологически чистые акустические композитные материалы для различных функциональных назначений.* Интерес к научным исследованиям и практическому использованию новых экологически чистых акустических композитов постоянно растёт. Это связано с острой актуальностью экологических проблем, с которыми сталкивается современное общество, что, в частности, требует поиска новых источников возобновляемого сырья и производства новых экологически безопасных материалов, а также новых подходов к управлению ресурсами и защите окружающей среды от загрязнителей и вредных физических факторов.

Акустические материалы - это искусственно созданные материалы, предназначенные для рассеивания звуковой энергии [1]. Различают акустические материалы с звукопоглощающими и звукоизолирующими свойствами [2,3]. Звукопоглощающие материалы, как правило, обладают низкой насыпной плотностью. Их способность к звукопоглощению обусловлена пористой структурой и наличием большого количества открытых сообщающихся пор. Звукопоглощающие материалы поглощают энергию звуковых волн, распространяющихся внутри них. Механизм звукопоглощения заключается в преобразовании энергии звуковых колебаний в тепловую энергию за счёт вязких потерь в капиллярах пор или необратимых потерь вследствие деформации волокнистой структуры материала.

Основным свойством звукоизолирующих материалов является отражение звука и, таким образом, предотвращение его прохождения. Как правило, звукоизолирующие материалы имеют относительно высокую плотность. В определённом смысле к акустическим материалам также относятся вибропоглощающие и виброизолирующие материалы [4].

Создание новых шумопоглощающих материалов заключается в решении взаимосвязанных задач разработки звукоизолирующих и звукопоглощающих материалов, эффективных в заданном диапазоне частот. Кроме того, для снижения интенсивности передачи вибрационной энергии от виброактивных объектов от мест её возникновения к местам излучения звука необходимо разрабатывать соответствующие материалы с вибропоглощающими и виброизолирующими свойствами. Общая цель при создании материалов для вибро- и шумопоглощения заключается в улучшении динамических механических свойств, связанных с рассеянием энергии вибрационных волн за счёт вязкого трения или необратимых потерь упругой деформации в компонентах структуры композитного материала.

Теоретические основы и накопленный практический опыт, прежде всего в автомобильной промышленности, свидетельствуют о том, что эффективные инновационные материалы для вибро- и шумопоглощения могут быть созданы на основе компонентов (веществ) с высоким индексом

механических потерь в широком температурном и частотном диапазоне. Как показали наши предварительные исследования, к таким веществам относятся растительные волокна и различные биоразлагаемые природные линейные и разветвлённые высокомолекулярные соединения (натуральный каучук, целлюлоза, полимеризующиеся смолы, крахмал, жидкость из скорлупы орехов кешью и др.). Обеспечить высокий уровень акустических и эксплуатационных характеристик композитов, созданных на основе природных высокомолекулярных соединений и растительных волокон (биокомпозитов), можно за счёт композиционного состава материалов.

Другими значимыми преимуществами композитов на основе природных компонентов являются их относительно низкая плотность и, как следствие, малый вес готовых изделий, лёгкость утилизации и переработки. Наиболее широко используемые в традиции природные компоненты для создания акустических композитов включают волокна льна, конопли, джута, кенафа, кокоса, тростника, соломы и др. [5–7]. Конкретный тип используемого натурального волокна зависит как от требуемых физико-механических и акустических свойств конечного продукта, так и от доступности соответствующего сырья в конкретном регионе.

В ряде случаев композиты на основе натуральных волокон демонстрируют более высокие физико-механические и акустические характеристики по сравнению с композитами на основе синтетических (искусственно созданных) полимеров и волокон. Например, в работах [8–9] показано, что звукопоглощающие свойства композитов на основе волокон бамбука, кенафа, люффы, финиковой пальмы, кокоса, чайного листа, конопли и тростника превосходят аналогичные свойства композитов на основе полипропиленовых и полиэфирных волокон.

Анализ доступной литературы и наш собственный опыт использования фибро-гранулированного растительного сырья, а также биомассы в качестве базовых компонентов для акустических композитов показывает, что рисовая шелуха [10] и гречиха [11–12] позволяют формировать открытую пористую структуру композита с низкой плотностью и низким сопротивлением воздушному потоку. Эти характеристики, в свою очередь, являются необходимыми условиями для хороших звукопоглощающих свойств, поэтому фибро-гранулированное растительное сырьё и биомассу можно рассматривать как перспективную основу для создаваемых звукопоглощающих композитов.

Механизмы звукопоглощения в пористых композитах. В основном в пористых материалах механизмы звукопоглощения включают три ключевых компонента: (1) колебания молекул воздуха в порах материала вызывают трение о стенки пор, что приводит к преобразованию звуковой энергии в тепло и последующему рассеянию; (2) проникновение продольных звуковых волн вызывает периодическое сжатие и разрежение воздуха в порах, на что также тратится энергия; (3) резонансные колебания стенок пор приводят к преобразованию звуковой энергии в механическую и тепловую (см. рис. 1) [13]. Исходя из этих механизмов, можно сформулировать три основных принципа проектирования эффективных звукопоглощающих материалов и используемых в них компонентов:

1. Материалы должны содержать достаточное количество пор различной формы (например, полости, каналы, щели);

2. Выбор размеров пор должен основываться на частотном диапазоне поглощаемого шума, при этом поры должны быть сообщающимися для прохождения звуковых волн;

3. Должны существовать каналы между внутренними порами и внешней поверхностью материала.

Поэтому введение микро- и наноразмерных модификаторов в полимерные матрицы с целью улучшения акустических свойств композитов направлено на увеличение вязко-упругих потерь механической энергии волокнистого каркаса и улучшение пористой структуры. В исследовании [14] проводилось виброакустическое исследование композитов на основе открыто-ячеистых гибких полимерных сетей (IPN) с соотношением полиуретан-полиметилметакрилат (PU–PMMA) 75:25 с добавлением органо-глинистых наночастиц. Было установлено, что гидроксильные группы на наночастицах существенно взаимодействуют с карбонильными связями уретановых групп в цепях IPN. Содержание наночастиц в композите оптимизировалось с использованием методов динамического механического и акустического анализа. Присутствие наночастиц в структуре IPN усиливает механические свойства, включая модуль упругости и демпфирование в более широком температурном диапазоне, а также тангенс δ . Кроме того, было показано, что предложенная наноглина повышает термическую стабильность нанокompозита.

Результаты динамического и акустического анализа показали, что нанокompозит с

содержанием 1,2% масс. наноглины демонстрирует наилучшие механические и акустические свойства. Было установлено, что соответствующие взаимодействия между гидроксильными группами наноглины и уретановыми связями IPN улучшают механические и термические свойства. Дополнительно эти взаимодействия увеличивают вязкоупругие потери и звукопоглощение на различных частотах. Результаты исследования, проведённого в диапазоне частот 400–1600 Гц, показали, что коэффициент звукопоглощения достиг максимального значения 0,61 при частоте 970 Гц при содержании наноглины 0,9% масс. На самом деле увеличение содержания наноглины приводило к повышению звукопоглощения на более высоких частотах.

В исследовании [15] рассматриваются методы прогнозирования коэффициента звукопоглощения различных волокнистых материалов, включая неорганические и металлические волокна, синтетические волокна, натуральные волокна и наноприфиброванные мембраны для снижения шума. Показано, что в первом приближении коэффициент звукопоглощения может быть оценён с использованием простой эмпирической модели на основе удельного сопротивления воздушному потоку. Однако для более точного анализа звукопоглощения, описывающего частотную зависимость акустических характеристик, необходимо разрабатывать и применять более сложные микроструктурные модели, определяемые детальными структурными параметрами волокнисто-пористых материалов.

Улучшение звукоизоляционных свойств.

При создании акустических материалов с высокими звукоизоляционными свойствами, эффективными в диапазоне звуковых частот, компонент полимерной матрицы должен обеспечивать специфические свойства композита: высокий динамический модуль упругости, механический коэффициент потерь, теплоизоляционные свойства, самовосстановление, радиоэкранирование, жёсткость к деформации и т. д.

Гетерогенный материал формируется при введении дисперсных модификаторов в эпоксидную смолу с равномерным распределением компонентов, что обеспечивает межфазное взаимодействие. В этом случае высокие прочностные свойства материала обусловлены формированием трёхмерной структуры органического компонента, температурный диапазон демпфирования определяется температурами стеклования

эластомеров и сшитых олигомеров, а эффективность демпфирования – структурой органического полимера, типом волокна и дисперсного модификатора.

Широкий спектр неорганических функциональных наполнителей используется для улучшения физико-механических свойств композитных материалов на основе эпоксидных смол. Среди наполнителей значительное место занимают силикатосодержащие продукты, природные слоистые и наноразмерные силикаты. Силикатные наполнители имеют ряд преимуществ – они доступны, недороги, нетоксичны и не воспламеняются, в результате чего силикаты различных структур и свойств широко используются в материаловедении.

Интересные результаты получены при введении в эпоксидные смолы полых ценосфер. При отверждении материала частицы модификатора распределяются определённым образом, что позволяет получать градиентные композиты. Градиентное распределение ценосфер определяет также градиентное распределение плотности композита по толщине, в частности – акустического импеданса.

Недостатком таких материалов является слабое межфазное взаимодействие на границе фаз модификатор / связующее, что приводит к низкой твёрдости. Поэтому для реализации эффективности таких систем необходимо разрабатывать дополнительные технологические решения.

Для введения наноразмерных модификаторов в состав композита могут использоваться различные технологии, выбор которых зависит от типа и дисперсности применяемых продуктов.

Подготовка наноразмерных модификаторов включает дезинтеграцию, диспергирование и функционализацию. Дезинтеграция дисперсных наполнителей позволяет повысить степень их дисперсности, после чего с использованием таких методов, как смешивание, механохимия или распыление, их можно вводить в раствор органического компонента или наносить на волокнистый наполнитель.

Проведение диспергирования используемых модификаторов в растворе позволяет получать агрегатно-устойчивые растворы с наночастицами (суспензии), которыми можно обрабатывать волокна. При обработке волокон полученными растворами методом осаждения, сорбции или с применением технологии золь-гель, поверхность волокна может быть функционализирована, что придаёт волокнам

новые функциональные свойства и повышает эффективность их использования в шумопоглощающих композитах на основе эпоксидных смол.

Функционализация дисперсного модификатора предполагает обработку химически активным органическим компонентом с целью повышения функциональной активности поверхности. В результате введения наноразмерных дисперсных модификаторов предложенными технологическими способами обеспечивается структурирование органического компонента за счёт:

- химических реакций функциональных групп органического полимера с пришитыми функциональными группами наночастиц,
- равномерной фиксации в его составе в виде дисперсных частиц.

Замена смол на основе нефтепродуктов в натуральных волокнистых композитах на биополимеры должна привести к хорошим техническим результатам. Термореактивные смолы на основе био-масел представляют собой перспективную альтернативу полиуретановым или эпоксидным смолам. Замена полипропилена

на термопластичный биополимер будет очень трудной или невозможной с точки зрения устойчивости: биополимеры, такие как полилактиды (PLA) или полигидроксибутират (PHB), имеют плотность, значительно превышающую плотность других распространённых пластиков. С точки зрения устойчивости всегда предпочтительнее иметь лёгкие изделия из полипропилена, чем из любого другого биополимера.

Заключение. Создание эффективных акустических композитов заключается в разработке компонентного состава, поиске оптимального соотношения натуральных и искусственных компонентов, дисперсного наполнителя, включая природного происхождения, подборе экологически чистых и эффективных полимерных связующих и их модификаторов. При выборе компонента полимерной матрицы разрабатываемых композитов необходимо будет исследовать возможности аддитивных (3D-печать) и традиционных промышленных технологий для создания эффективных акустических метаструктур на основе доступных биополимеров (PLA, PHB и др.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Bukharov S.N., Sergienko V.P., Kozhushko V.V., Kudina E.F., Tuleika A. S., Iankov R., Datcheva M., Alexiev A. Acoustic composites and noise-reducing structures. Part I. Environmentally friendly components and nanofillers (a review). *Polymer Materials and Technologies*, 2021, vol. 7, no. 1, pp. 6–22.
2. Hopkins C. *Sound Insulation*. Elsevier / Butterworth-Heinemann, 2007. – 622 p.
3. *Sound absorbing and sound insulating materials*. Ed. By E.Ya.Yudin. Moscow: Stroizdat, 1966. 248 p.
4. Borisov L.P., Guzhas D.R. *Zvukoizolyatsiya v mashinostroyenii* [Sound insulation in mechanical engineering]. Moscow: Mashinostroyenie, 1990. 256 p
5. Promper, E. Natural fibre and wood fibre reinforced compounds for automotive interiors – A success story // *International congress of raw Material Shift & biomaterials on the 3rd – 4th December 2008*.
6. Dirk Frank, e.a. Nonwoven combined material containing bicomponent fibers and method of its production. Patent RF, no. 2147054, 2000.
7. Sergienko V.P., e.a. Sound absorbing composite material. Patent RB, no. 22760, 2019.
8. Koizumi T., Tsujiuchi N., Adachi A. The development of sound absorbing materials using natural bamboo fibers // *High Performance Structures and Composites* /eds. Brebbia C.A., DeWilde W. P. USA: WIT Press, 2002, pp. 157–166.
9. Chen Y., Sun L. F., Chiparus O., Negulescu I., Yachmenev V., Warnock M. Kenaf/ramie composite for automotive headliner // *Journal of Polymers and the Environment*, 2005, vol. 13, no. 2, pp. 107–114.
10. Samaei S.E., Berardi U., Taban E., Parham Soltani P, Mousavi S.M. Natural fibro-granular composite as a novel sustainable sound-absorbing material // *Applied Acoustic* 181 (2021) 108257.
11. Sakamoto S., Takauchi Y., Yanagimoto K., Watanabe S. Study of sound absorbing materials of biomass tubule etc. (Measured results for rice straw, rice husks, and buckwheat husks) / *Journal of Environment and Engineering*. 2011, V.6, No 2, P. 352-364.
12. Kozhushko, V.V. Bukharov S.N., Alexiev A., Iankov R. Buckwheat husk and epoxy resin based composites for noise abating // *Journal Akustika*. – Vol. 40. – 2021. – P. 17-20.
13. Rahimabady M. et al./ Hybrid local piezoelectric and conductive functions for high performance airborne sound absorption, *Appl. Phys. Lett.* 111 (2017) 241601.
14. Moradi G. et al./ Organoclay nanoparticles interaction in PU: PMMA IPN foams: Relationship between the cellular structure and damping-acoustical properties // *Applied Acoustics* 164 (2020) 107295.
15. Tang, X., & Yan, X./ Acoustic energy absorption properties of fibrous materials: A review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 101, 360–380.

Rajabov Sh.X., Xolnazarov F.A., Hakimov K.J., Abdisoatov S.Z. Xondiza koni polemetal rudalaridan rux, mis va qo'rg'oshin metallarini ajratib olish texnologiyasini takomillashtirish	80
Yuldasheva N.S., Matkarimov S.T., Mukhametdjanova Sh.A., Nosirkhujaev S.Q., Ochildiev K.T., Akramov U.A. The production of iron-containing alloys from slags of copper production	84
4. Прикладные, экономические и экологические аспекты применения композиционных материалов	
Mizaraximov A.A., Komilov Q.O'., Muxamedov G'I. Fosfogipsdan foydalanishda uni zararsizlantirishga erishish yo'llari	87
Абед Н.С. Ключевые аспекты создания новых акустических многофункциональных композитов	90
Мусабеков Д.Х., Негматова К.С., Раупова Д.Н., Рахимов Х.Ю. Созданные и освоение технологической линии производства композиционных химических реагентов-деэмульгаторов, применяемых в технологии обезвоживания и обессоливания нефтеэмульсии	94
Tursunbayev S.A., Mardonaqulov Sh.O'., Saidxodjayeva Sh.N., To'rayev A.N., Murodqosimov R.X., Odilov F.U. Al-Cu-Mg tizimidagi qotishmalarni legirlovchi elementlar (Ge va Si) ta'sirida fazalar o'zgarishi ...	97
Максудходжаева М.С., Юлдашев Л.Т., Джумакулов Т., Жумаев М.Н. Композиции из феромонов для ловушки дынных мух – <i>Miopardalis pardalina</i> Big, с целью защиты сельскохозяйственной продукции	100
Tursunbayev S.A., Murodov S.Z., Turakhodjayeva A.N., Rakhmonova M.R., Turaev A.N. The change in the fluidity properties of the Al-Cu alloy under the influence of modifying elements	102
Kucharov A.A., Qurbonov A. A., Yusupov F.M. Gaz quvurlarining korroziyaga chidamliligini oshirish uchun bitum asosida kompozitsion qoplama: sintez, xususiyatlar va qo'llanilishi	104
Мухаметджанова Ш.А., Маткаримов С.А., Носирхужаев С.К., Очилдиев К.Т., Валиева М.Э., Камолов Л.У. Теоретические исследования причин потери меди в технологии переработки сульфидных медных концентратов в кислородно-факельной печи	109
Uzoqov A.A., To'rayev T.B., Raximov H.N. Tabiiy gazni gazkondensatidan va mexanik qo'shimchalardan tozalash samaradorligini oshirish	113
5. Методы исследования, приборов и оборудований композиционных материалов	
Аллаев Ж., Комилов К.У., Курбанова А.Дж. Получение и изучение свойства композиционных материалов на основе фосфогипса	120
Sayitova N.N., Ibragimova K.S., Tangyarikov N.S. Xlorofill metall analoglarining eritmalarida solvatsiya effektlari	122
Mamatkulova S.O., Maksumova O.S. Piperidinobetain asosida mis (II) kompleks birikmalari sintezi	125
Исаева Н.Ф. Синтез цеолитных адсорбентов из промышленных отходов: технология, свойства и эффективность	129
Umirzakova F.B., Rasulov A.X. Tog'-kon karyerlari uchun konveyer roliklarini afzalliklari	130
Шапатов Ф.У., Исмаилова Р.М., Усманова Г.А., Ражабова Э.Б., Исмаилов Р.И. Изучение влияния коллоидной композиции на основе 2-бромметилоксирана с 1,3-дифенилгуанидином на горючесть полиэтилена	132
Эшонкулов У.Х., Рузиев У.М., Каюмов О.А., Нормуминов У.Ш., Абдуллаев Ф.О. Взаимодействие компонентов глиноземсодержащего сырья с азотной кислотой	135
Samandarov E.Sh., Ibragimov A.B., Yakubov Yu.Yu., C.Balakrishnan, Safarov A.R. 18-crown-6 based supramolecular structure, Z-scan, hirshfeld surface analysis nonlinear optical properties	139
Чўлиев У.Х., Амонов М.Р. Сувда эрувчан полимерлар асосида олинган бурғуловчи эритма хоссаларини ўрганиш	143
Хасанов С.М., Ўнгбоев А.М. Изменение поверхностной структуры инструментальных материалов при их магнитной обработке	145
Абед Н.С., Негматова К.С., Икрамова М.Э., Бабаханова М.А., Шамсиева С.С., Рахимов Х.Ю. Маҳаллий ва иккиламчи хомашёлардан полимер композицияси асосидаги янги лок-бўёк материалларини эксплуатацион хоссаларини аниқлаш	147
Mamatqodirov B.D., Yakubov.Y.Y., Ibragimov A.B. Sidorenko A.Yu. Kaolin nanonaylarini SEM tasvirlari tahlili	149
Safarov A.R., Bozorov A.N., Ibragimov A.B. Cu(II) ionini 2-amino 5-metiltio 1,3,4-tiodiazol asosida olingan yangi metal kompleksining EA va SEM tahlili	153
Ermatov R.K., Dekhkanov Z.K., Doliyev. G.A., Abdulhayev. A.B. Optimization of bertole salt obtaining technology through silvinit recycling	154
Qo'chqorov Sh.B., Turabdjano S.M. Aralash tolali matolarni yakuniy pardoqlashda tabiiy xitozan bilan ishlov berish	156