

# ENGINEER



international scientific journal

## SPECIAL ISSUE

E-ISSN

3030-3893

ISSN

3060-5172



A bridge between science and innovation



**TOSHKENT DAVLAT  
TRANSPORT UNIVERSITETI**  
Tashkent state  
transport university



# **ENGINEER**

**A bridge between science and innovation**

**E-ISSN: 3030-3893**

**ISSN: 3060-5172**

**SPECIAL ISSUE**

**16-iyun, 2025**



[engineer.tstu.uz](http://engineer.tstu.uz)

**“QURILISHDA YASHIL IQTISODIYOT, SUV VA ATROF-MUHITNI ASRASH TENDENSIYALARI, EKOLOGIK MUAMMOLAR VA INNOVATSION YECHIMLAR” MAVZUSIDAGI RESPUBLIKA MIQYOSIDAGI ILMIY-AMALIY KONFERENSIYA TASHKILIY QO‘MITASI**

1. Abdurahmonov O.K. – O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti Administratsiyasi ijtimoiy rivojlantirish departamenti rahbari, Toshkent davlat transport universiteti rektori
2. Gulamov A.A – Toshkent davlat transport universiteti prorektori
3. Shaumarov S.S – Toshkent davlat transport universiteti prorektori
4. Suvonqulov A.X. – O‘zsuvta’minoti AJ raisi
5. Xamzayev A.X. – O‘zbekiston ekologik partiyasi raisi
6. Maksumov N.E. – O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi huzuridagi Qurilish va uy-joy kommunal xo‘jaligi sohasida nazorat qilish inspeksiysi boshlig‘i o‘rinbosari
7. Baratov D.X. – Toshkent davlat transport universiteti prorektori
8. Turayev B. X – Toshkent davlat transport universiteti prorektori
9. Norkulov S.T. – Toshkent davlat transport universiteti prorektori
10. Adilxodjayev A.E. – Universitedagi istiqbolli va strategik vazifalarni amalga oshirish masalalari bo‘yicha rektor maslahatchisi
11. Negmatov S.S. – “Fan va taraqqiyot” DUK ilmiy rahbari, O‘zbekiston Respublikasi Fanlar Akademiyasi Akademigi
12. Abed N.S. – “Fan va taraqqiyot” DUK raisi
13. Merganov A.M – Ilmiy tadqiqotlar, innovatsiyalar va ilmiy-pedagogik kadrlar tayyorlash bo‘limi boshlig‘i
14. Ibadullayev A. – Muhandislik kommunikatsiyalari va tizimlari kafedrasi professori
15. Rizayev A. N. – Muhandislik kommunikatsiyalari va tizimlari kafedrasi professori
16. Xalilova R.X. – Muhandislik kommunikatsiyalari va tizimlari kafedrasi professori
17. Babayev A.R. – “Qurilish muhandisligi” fakulteti dekani
18. Boboxodjayev R.X – Tahririy nashriyot va poligrafiya bo‘limi boshlig‘i
19. Talipov M.M – Ilmiy nashrlar bilan ishslash bo‘limi boshlig‘i
20. Maxamadjonova Sh.I. - Matbuot xizmati kontent-menedjeri
21. Umarov U.V. – Muhandislik kommunikatsiyalari va tizimlari kafedrasi mudiri
22. Eshmamatova D.B. – Oliy matematika kafedrasi mudiri
23. Muxammadiyev N.R. – Bino va sanoat inshootlari qurilishi kafedrasi mudiri
24. Tursunov N.Q. – Materialshunoslik va mashinasozlik kafedrasi mudiri
25. Shermuxammedov U.Z. – Ko‘priklar va tonnellar kafedrasi mudiri
26. Lesov Q.S. – Temir yo‘l muhandisligi kafedrasi mudiri
27. Pirnazarov G‘.F. – Amaliy mehanika kafedrasi mudiri
28. Teshabayeva E.U. – Tabiiy fanlar kafedrasi professori
29. Chorshanbiyev Umar Ravshan o‘g‘li – Muhandislik kommunikatsiyalari va tizimlari kafedrasi dotsent v.b.
30. Obidjonov Axror Jo‘raboy o‘g‘li – Muhandislik kommunikatsiyalari va tizimlari kafedrasi assistenti

## Study of the influence of technological factors on the properties of acoustic composites containing natural fibers and targeted additives

S.S. Negmatov<sup>1</sup>, T.U. Ulmasov<sup>1</sup>, N.S. Abed<sup>1</sup>, V.P. Sergienko<sup>2</sup>, S.N. Bukharov<sup>2</sup>,  
V.S. Tulyaganova<sup>1</sup>, S.A. Bozorboev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>The state institution "Fan va Tarakkiet", Uzbekistan

<sup>2</sup>Institute of Mechanics and Metal Polymer Systems of the National Academy of Sciences of Belarus named after V.A.Bely, Belarus

**Abstract:** This study investigates the influence of technological factors on the dynamic mechanical properties of acoustic composites containing natural fibers and targeted additives. Alternative binder formulations based on epoxy and phenol-formaldehyde resins, cured without the use of toxic polyethylene polyamine, have been developed. It was found that optimal curing regimes and the incorporation of nanomodifiers, particularly montmorillonite, improve the vibration damping and sound insulation properties of the materials. Reinforcement with short basalt fibers compensates for the reduction in elastic modulus. The results demonstrate the potential for creating eco-friendly, technologically advanced, and climate-resistant composites with tailored acoustic properties.

**Keywords:** Acoustic composites, epoxy resins, natural fibers, montmorillonite, phenol-formaldehyde resins, curing agents, dynamic mechanical properties, vibration damping, sound insulation.

## Изучение влияния технологических факторов на свойства акустических композитов, содержащих природные волокна и целевые добавки

**Негматов С.С.<sup>1</sup>, Улмасов Т.У.<sup>1</sup>, Абед Н.С.<sup>1</sup>, Сергиенко В.П.<sup>2</sup>, Бухаров С.Н.<sup>2</sup>,  
Туляганова В.С.<sup>1</sup>, Бозорбоев Ш.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Государственное учреждение «Фан ва тараккиёт», Узбекистан

<sup>2</sup>Институт механики и металлов полимерных систем НАН Беларусь имени В.А.Белого, Беларусь

**Аннотация:** В работе исследовано влияние технологических факторов на динамические механические свойства акустических композитов, содержащих природные волокна и целевые добавки. Разработаны альтернативные составы связующих на основе эпоксидных и фенолформальдегидных смол, отверждаемых без использования токсичного полиэтиленполиамина. Установлено, что оптимальные режимы отверждения и введение наномодификаторов, в частности монтмориллонита, улучшают вибропоглощающие и звукоизолирующие свойства материалов. Армирование короткими базальтовыми волокнами компенсирует снижение модуля упругости. Полученные результаты демонстрируют возможность создания экологичных, технологичных и устойчивых к климатическим воздействиям композитов с заданными акустическими характеристиками.

**Ключевые слова:** Акустические композиты, эпоксидные смолы, природные волокна, монтмориллонит, фенолформальдегидные смолы, отвердители, динамические механические свойства, вибропоглощение, звукоизоляция.

### 1. Введение

Синтетические полимерные связующие (матрицы) применение в составе композиционных материалов и строительных конструкций, в том числе работающих в условиях воздействия климатических факторов. При этом известные исследования в области старения полимеров демонстрируют, что большинство полимерных материалов существенно деградирует со

временем. Эти процессы в значительной мере ускоряются под воздействием агрессивных факторов окружающей среды и сопровождаются изменением химической и физической структуры полимеров. Известно, что свойства полимерных композитов, а также их стойкость к воздействию факторов окружающей среды во многом определяется типом отверждающей системы, поэтому важно оценивать климатическую стойкость полимерных материалов и определить наиболее эффективные типы отвердителей.

Применение традиционного типа отвердителей на основе полиэтиленполиаминов нежелательно из-за ряда недостатков, основными из которых является его токсичность, экзотермичность, низкая теплостойкость получаемых композиций. Главными технологическими недостатками эпоксидных смол при использовании полиэтиленполиаминного отвердителя являются плохое отверждение при низких температурах, а при массе отверждаемого компонента более 200 гр. – экзотермические процессы, которые приводят к разогреву готовой смеси до температуры выше 200°C, неконтролируемому порообразованию, вскипанию, дымлению и даже возгоранию. Другим нежелательным эффектом при отверждении композиций на основе эпоксидных смол полиэтиленполиаминными отвердителями является липкая поверхность, или покрытия, в "жирных" пятнах (карбомате) при температурах ниже 14 °C.

## 2. Объект и методики исследования

Известную на сегодняшний день альтернативу полиэтиленполиаминным отвердителям представляют отвердители аминного типа Etal-1440, Etal-1460, Etal-45M и др. Важным технологическим преимуществом этих отвердителей является в три раза большая жизнеспособность и значительно более низкая (около 60 °C) температура экзотермической реакции по сравнению с композициями, отверждаемыми полиэтиленполиамином. Тем не менее, эти отвердители сохраняют недостатки, связанные с так называемым «охрупчиванием», т.е. снижением относительного удлинения на 49-85% отверженных эпоксидных композиций уже через 12 месяцев натурных испытаний под действием ультрафиолетового излучения в диапазоне 280±2800 нм [1-5].

В рамках данной задачи предложены альтернативные способы отверждения используемых в составе разрабатываемых композитов полимерных связующих, реализующие принцип модифицирования эпоксидных смол другими смолами, в частности, фенольными. Помимо функции отверждения, предполагается, что это позволит создать совмещенное связующее со структурой взаимопроникающих сеток, расширяющих эффективный диапазон вибропоглощения. Для замены стандартного полиэтиленполиаминного (РЕРА) отвердителя разработаны экспериментальные составы отвердителей на базе спиртовых растворов фенолформальдегидных (PFR) и эпоксидных (ER) смол (Табл. 1).

Таблица 1

Композиции эпокси-фенольных связующих и технологические режимы отверждения

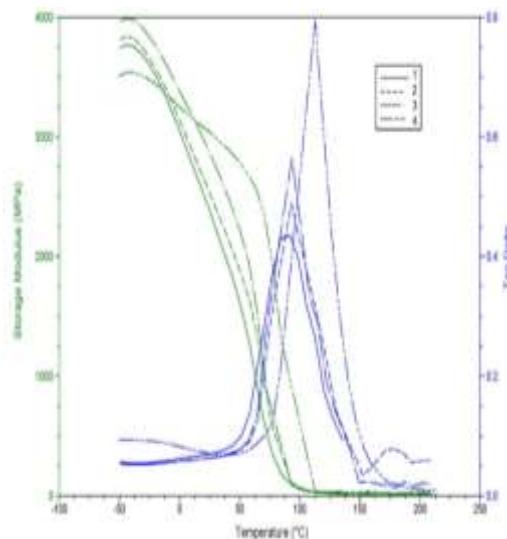
№	Состав полимерного связующего (соотношение долей компонентов)	Технологические режимы			
		Стадия отверждения		Стадия термообработки	
		Температура, °C	Время, мин	Температура, °C	Время, мин
1	PFR:ER (40:60)	50	240	100	1440
2	PFR:ER (50:50)	50	240	100	1440
3	PFR:ER (60:40)	50	180	100	1440

1	PFR:ER (40:60)	50	240	100	1440
2	PFR:ER (50:50)	50	240	100	1440
3	PFR:ER (60:40)	50	180	100	1440

## 3. Результаты исследования и их обсуждение

Изучено влияние основных технологических факторов (температуры и времени) на стадии отверждения полимерных матриц на динамические механические характеристики. Экспериментальные данные, полученные методом нерезонансного динамического термического механического анализа (ДТМА) представлены на рис. 1 в сравнении со смолой, отверженной стандартным отвердителем РЕРА.

Представленные на рисунке 1 температурные зависимости динамического модуля упругости показывают, что предложенные составы эпокси-фенольных связующих и выбранные технологические режимы отверждения обеспечивают необходимый уровень механических характеристик, сопоставимый со смолой, отверженной стандартным отвердителем РЕРА. При этом установлено, что предложенные составы комбинированные отвердители не проявляют технологические недостатки эпоксидных смол, связанные с экзотермическими процессами при отверждении.



1 – композиция PFR:ER (40:60); 2 – PFR:ER (50:50);  
3 – PFR:ER (60:40) в соответствии с нумерацией  
табл. 3; 4 – ER:PEPA (10:1)

Рис. 1. Динамические механические характеристики полимерных связующих акустических композитов в зависимости от массового соотношения компонентов и технологических факторов

Дальнейшие работы в рамках данной задачи, касающиеся исследованию влияния технологических факторов на динамические механические свойства композитов, содержащих природные волокна и целевые добавки (наномодификаторы, металлические

дисперсные частицы и т.д.). будут проводиться с использованием оптимизированных композиционных смесей. Известно, что влияние динамических механических характеристик композитов, т.е. способность ослаблять энергию колебаний в звуковом диапазоне частот выражается, главным образом, на звукоизоляционную характеристику материалов через два основных фактора – динамический модуль упругости ( $E_d$ ) и коэффициент потерь ( $\tan \delta$ ). Температурные и частотные зависимости  $E_d$  и  $\tan \delta$  полимерных композитов определяются их химическим строением и молекулярной подвижностью, внутри- и межмолекулярным взаимодействием. При низких температурах, когда полимерная матрица композита находится в стеклообразном состоянии,  $E_d$  линейных аморфных полимеров могут достигать порядка нескольких гПа. С повышением температуры и переходом в высокоэластичное состояние  $E_d$  полимеров снижаются до  $10^5 - 10^6$  Па. Изменение состава и структуры композитов и входящих в них полимерных матриц существенно влияет на температурно-частотные динамические механические, и, как следствие, акустические характеристики композитов. В результате проведенных нами исследований были предложены рецептуры эпоксидных композитов, содержащих наноразмерные силикатные наполнители различного типа (рис. 2). При этом было установлено, что наиболее перспективным с точки зрения повышения вибропоглощения является использование монтмориллонита (MMR). При использовании других типов силикатных наполнителей отмечались менее значительные эффекты, сопровождающиеся как ростом, так и снижением вязкоупругих потерь. Введение в состав композита коротких базальтовых волокон в качестве армирующего наполнителя компенсирует нежелательное снижение  $E_d$ , связанное с введением монтмориллонита, и увеличивает его на 8,3% по сравнению с исходным составом (кривая V на рис. 2).

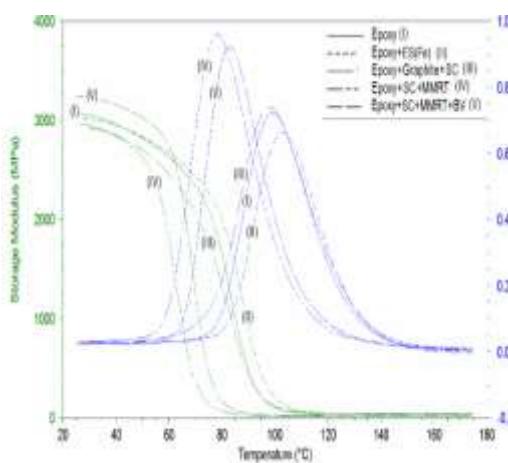


Рис. 2. Температурные зависимости динамических и механических характеристик эпоксидных композитов, содержащих различные типы наноразмерных силикатных наполнителей

На рисунке 3 представлены данные нерезонансного ДТМА  $E_d$  и  $\tan \delta$  эпоксидных композитов,

утвержденных стандартным полиэтиленполиаминным отвердителем в зависимости от содержания силикатного нанонаполнителя MMR. Найденное оптимальное содержание данного модификатора на уровне 5% масс. обеспечивает увеличение  $\text{tg}\delta_{\max}$  до 30 % и смещение на 25 – 30 °C  $T(\text{tg}\delta_{\max})$  в область эксплуатационных температур.

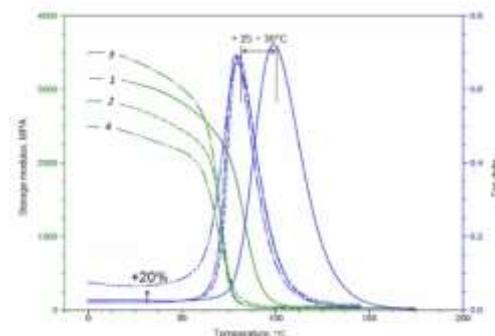
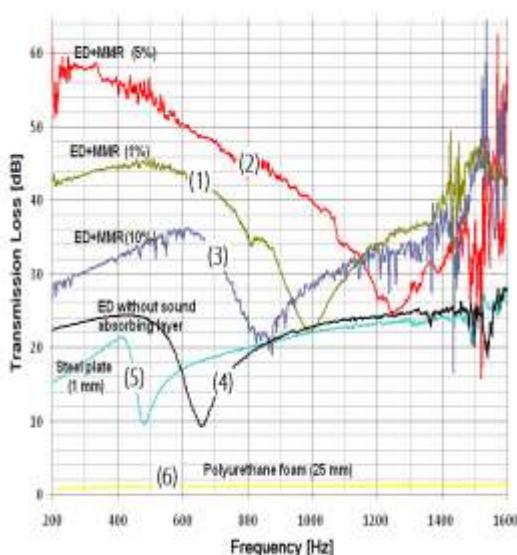


Рис. 3. Температурная зависимость динамического модуля упругости и коэффициента потерь эпоксидных композитов, содержащих MMR: 1 – эпоксидная смола без MMR; 2 – 1% MMR; 3 – 5% MMR; 4 – 10% MMRT

На рисунке 4 представлены результаты измерений звукоизоляции (TL) 3-слойных шумопонижающих сэндвич-структур типа «сталь – демпфирующий слой – звукоизолирующий слой», в которых наномодифицированные монтмориллонитом эпоксидные композиции, выполняют роль промежуточного (адгезионного) слоя между стальной 1-мм пластины и 10-мм волокнисто-пористым звукоизолирующим слоем.

Сопоставление данных динамического механического анализа с результатами акустических измерений показывает, что зависимости динамического модуля упругости в эксплуатационном диапазоне температур и звукоизолирующая способность композитов в широком диапазоне частот имеют корреляцию от содержания монтмориллонита, а его оптимальное содержание отмечается на уровне 5% масс. и обеспечивает максимальный (до 30 дБ) прирост звукоизолирующей способности по сравнению с немодифицированной композицией.



1, 2 и 3 – 1 wt.%, 5 wt.% и 10 wt.% соответственно; 4 – конструкция без звукопоглощающего слоя; 5 – стальная 1-мм пластина без демпфирующего и звукопоглощающего слоя; 6 – 25-мм слой стандартного звукопоглощающего материала (пенополиуретан средней плотности)

Рис. 4. Результаты измерений звукоизоляции (TL) 3-слойных акустических конструкций при различном содержании наномодификатора MMR в композиции промежуточного (демпфирующего) слоя

#### 4. Вывод

Проведённые исследования подтвердили эффективность замены традиционного полиэтиленполиаминного отвердителя на комбинированные системы на основе эпоксидных и фенолформальдегидных смол. Такие связующие обеспечивают стабильные динамические механические характеристики без характерных технологических недостатков - перегрева, порообразования и низкой климатической стойкости. Установлено, что введение монтмориллонита в концентрации 5% масс. повышает коэффициент потерь и звукоизоляционные свойства композита, особенно в эксплуатационном температурном диапазоне. Армирование короткими базальтовыми волокнами компенсирует снижение модуля упругости. Таким образом, предложенные материалы являются технологичными, экологичными и обладают улучшенными акустическими характеристиками, что делает их перспективными для дальнейшего применения в строительстве и транспорте 1%.

#### Использованная литература / References

[1] Andronychev D. O. et al. The influence of the hardener on the elastic-strength properties of epoxy

polymers exposed under natural conditions // Ogarev-Online. 2017. No. 11 (100).

[2] Sound absorption coefficient measurement methods in reverberation room and impedance tube. Darko Mihajlov, Momir Praščević, Petar Jovanović, Roumen Iankov, Nodira Abed. The Facta Universitatis, Series: Working and living environmental protection. [Volume. 21, No1, 2024](#). DOI: [10.22190/FUWLEP240314001M](https://doi.org/10.22190/FUWLEP240314001M).

[3] Влияние обработки в магнитном поле на трибоакустические характеристики медьсодержащих полимерных трикционных композитов В.П. Сергиенко, С.Н. Бухаров, А.Г. Анисович, В.К. Меринов, Н.С. Абед, А.Р. Алексиев. Трение и износ, 2024. - Т. 45, № 3. - С. 187-198 DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-3-187-198

[4] Promising Acoustic Materials to Reduce Noise and Improve the Environmental Situation in Production Facilities and Transportation. Nodira ABED, Roumen IANKOV, Alexander ALEXIEV, Aminjon BOZOROV, Sanjar SULTANOV, Sergey BUKHAROV, Maria DATCHEVA, Momir PRASCEVIC. Акустика. Издателство: Технически университет – София, 2024 г.

[5] Sound Absorption of Rice Husk as Promising Biomass Filler of Noise Reducing Composite. Nodira ABED, Alexander ALEXIEV, Sergey BUKHAROV, Roumen IANKOV, Momir PRASCEVIC, Darko MIHAJLOV. Акустика. Издателство: Технически университет – София, 2024 г.

#### Информация об авторах / Information about the authors

С.С. Негматов д.т.н., академик АН РУз, научный руководитель, Государственное учреждение «Фан ва тараккиёт»

Т.У. Улмасов д.т.н., с.н.с., заведующий лабораторией, Государственное учреждение «Фан ва тараккиёт»

Н.С. Абед д.т.н., профессор, директор, Государственное учреждение «Фан ва тараккиёт»

В.П. Сергиенко к.т.н., доц. начальник отдела «Фрикционное материаловедение», Институт механика и металлокомпозитных систем им. В.А. Белого НАН Б

С.Н. Бухаров к.т.н., доц., зав. лабораторией, Институт механика и металлокомпозитных систем им. В.А. Белого НАН Б

В.С. Туляганова д.т.н., с.н.с., начальник отдела, Государственное учреждение «Фан ва тараккиёт»

Ш.А. Бозорбоев PhD, зам. директора, Государственное учреждение «Фан ва тараккиёт»

# CONTEXT / MUNDARIA

<b>S. Negmatov, T. Ulmasov, N. Abed, V. Sergienko, S. Bukharov, V. Tulyaganova, S. Bozorboev</b>	
<i>Study of the influence of technological factors on the properties of acoustic composites containing natural fibers and targeted additives .....</i>	231
<b>N. Abed, M. Tukhtasheva, S. Negmatov, K. Negmatova, Sh. Kasimov, J. Negmatov, A. Abdulazibdulakahorov, I. Muradov, N. Ergashev</b>	
<i>Compilation of analysis of tribotechnically modified composite polymer materials and their physicochemical, tribotechnical properties used in mechanical engineering .....</i>	235
<b>N. Abed, S. Negmatov, A. Grigoriev, S. Eminov, V. Tulyaganova, B. Jabbarov, S. Bazarbayev, S. Shamsieva</b>	
<i>Investigation of the triboelectrization process of composite polymer materials depending on the type and nature of polymers and fillers ...</i>	239
<b>Z. Negmatov, A. Khursanov, K. Negmatova</b>	
<i>Investigation of the physico-chemical properties and flotation ability of the developed experimental batches of composite chemical flotation reagents-foamers KHF-VS-B .....</i>	243
<b>D. Musabekov, K. Negmatova, D. Raupova, H. Rakhimov</b>	
<i>Creation and development of a technological line for the production of composite chemical reagents-demulsifiers used in the technology of dehydration and desalination of petroleum emulsion .....</i>	247
<b>M. Ulugova, S. Negmatov, N. Talipov</b>	
<i>Investigation of physico-chemical processes forming the structure of water-resistant composite materials based on modified gypsum binders .....</i>	251
<b>M. Kasimova, K. Negmatova</b>	
<i>Research and development of effective dye composition formulations for use in the dyeing process of cotton fabric .....</i>	255
<b>B. Kodirov, S. Shaumarov, S. Kandahorov</b>	
<i>Analysis of the technological properties of industrial waste-based structural gasobeton .....</i>	259
<b>B. Kodirov, S. Shaumarov, S. Kandahorov</b>	
<i>Evaluation of spatial-structural properties and thermal technical indicators of autoclave-free aerated concrete produced from industrial waste .....</i>	264