

УДК: 691.678.686

DOI: 10.52409/20731523\_2023\_3\_36

EDN: ENUXGX



## Сравнение модифицирующего действия в эпоксидных композициях диоксидсодержащих наполнителей на основе техногенного и растительного сырья

Е.М. Готлиб<sup>1</sup>, И.Д. Твердов<sup>2</sup>, Э.Р. Галимов<sup>3</sup>, А.В. Долгова<sup>3</sup>, А.Р. Гимранова<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань,  
Российская Федерация

<sup>2</sup>Комплексная лаборатория «НаноАналитика», г. Казань, Российская Федерация

<sup>3</sup>Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.  
Туполева-КАИ, г. Казань, Российская Федерация

**Аннотация.** Природный диоксид обладает высокими электрофизическими и прочностными характеристиками, твердостью, а также устойчивостью к действию кислот, что обуславливает его использование в составе различных видов керамики, фаянса, бетона, сухих смесей и др. Кроме того, он достаточно эффективен как наполнитель полимерных материалов, что показано на примере полиэфирных смол. Однако, из-за дороговизны добычи и больших трудозатрат на измельчение твердой породы дисперсный диоксидсодержащий наполнитель практически отсутствует на отечественном рынке. Проблемой является также неравномерное распределение по территории России месторождений диоксидовой породы. Это делает актуальным синтез диоксидсодержащих наполнителей на основе доступного, недорогого отечественного сырья, в частности, металлургических шлаков и золы рисовой шелухи.

*Цель работы* заключается в определении влияния модифицирующего действия диоксидсодержащих наполнителей на основе техногенного и растительного сырья в эпоксидных композициях на комплекс эксплуатационных показателей.

*Задачами исследования* для достижения поставленной цели: являются изучение основных свойств диоксидсодержащих наполнителей, таких как фазовый состав, пористость, рН поверхности, маслосъемкость; анализ физико-механических характеристик эпоксидных композиций, наполненных данными наполнителями.

*Результаты.* В работе представлены результаты исследований диоксидсодержащих наполнителей, полученных на основе отходов черной металлургии и производства рисовой крупы. Наполнитель на основе металлургического шлака, содержит в 4 раза меньшее количество целевого продукта – диоксида, чем полученный на основе золы рисовой шелухи. У диоксидсодержащего наполнителя на основе металлургического шлака значительно меньшая пористость, по сравнению с наполнителем, который синтезирован на основе золы рисовой шелухи. Удельная поверхность его пор меньше на 30 %. Модификация эпоксидных полимеров диоксидсодержащими наполнителями обеспечивает значительное снижение коэффициента трения и рост износостойкости материалов на их основе, то есть их высокие трибологические характеристики. Одновременно растет твердость наполненных композиций и их адгезия к стали.

*Выводы.* Применение диоксидсодержащих наполнителей является эффективным для модификации эпоксидных полимеров и разработки защитных покрытий металлических конструкций и клеевых композиций на их основе.

**Ключевые слова:** диоксид, наполнители, эпоксидные материалы, рисовая шелуха, металлургический шлак.

**Для цитирования:** Готлиб Е.М., Твердов И.Д., Галимов Э.Р., Долгова А.В., Гимранова А.Р. Сравнение модифицирующего действия в эпоксидных композициях диоксид

содержащих наполнителей на основе техногенного и растительного сырья // Известия КГАСУ, 2023, № 3(65), с.36-44, DOI: 10.52409/20731523\_2023\_3\_36, EDN: ENUXGX

## Comparison of modifying action in epoxy compositions of diopside containing fillers based on technogenic and vegetable raw materials

E.M. Gotlib<sup>1</sup>, I.D. Tverdov<sup>2</sup>, E.R. Galimov<sup>3</sup>, A.V. Dolgova<sup>3</sup>, A.R. Gimranova<sup>3</sup>

<sup>1</sup>National Research Technological University, Kazan, Russian Federation

<sup>2</sup>Complex Laboratory "NanoAnalytics", Kazan, Russian Federation

<sup>3</sup>Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan, Russian Federation

**Abstract.** Natural diopside has high electrophysical and strength characteristics, as well as resistance to acids, which causes its use in various types of ceramics. In addition, it is quite effective as a filler of polymer materials, which is shown by the example of polyester resins. However, due to the high cost of extraction and high labor costs for grinding solid rock, dispersed diopside-containing filler is practically absent on the domestic market. In this regard, the main problem is the uneven distribution of the diopside deposit across the territory of Russia. This makes it relevant to synthesize diopside-containing fillers based on available, inexpensive domestic raw materials, in particular, metallurgical slag and rice husk ash.

*The purpose of the work* is to study the phase composition and properties of diopside - containing fillers based on man - made and vegetable raw materials and to study their modifying effect in epoxy compositions to improve the complex of performance indicators.

*The objectives of the study to achieve this goal* are to study the basic properties of diopside-containing fillers, such as phase composition, porosity, surface pH, oil capacity; analysis of the physical and mechanical characteristics of epoxy compositions filled with these fillers.

*Results.* The paper presents the results of studies of diopside-containing fillers obtained on the basis of ferrous metallurgy waste and rice cereal production. The filler based on metallurgical slag contains 4 times less amount of the target product – diopside than the one obtained on the basis of rice husk ash. The diopside-containing filler based on metallurgical slag has significantly lower porosity compared to the filler, which is synthesized on the basis of rice husk ash. The specific surface area of its pores is less by 30%. Modification of epoxy polymers with diopside-containing fillers provides a significant reduction in the coefficient of friction and an increase in the wear resistance of materials based on them, that is, their high tribological characteristics. At the same time, the hardness of the filled compositions and their adhesion to steel increases.

*Conclusions.* The use of diopside-containing fillers is effective for the modification of epoxy polymers and the development of protective coatings of metal structures and adhesive compositions based on them.

**Keywords:** diopside, fillers, epoxy materials, rice husk, metallurgical slag.

**For citation:** Gotlib E.M., Tverdov I.D., Galimov E.R., Dolgova A.V., Gimranova A.R. Comparison of modifying action in epoxy compositions of diopside containing fillers based on technogenic and vegetable raw materials // News KSUAE, 2023, № 3(65), p.36-44, DOI: 10.52409/20731523\_2023\_3\_36, EDN: ENUXGX

### 1. Введение

Большой интерес для композиционных полимерных материалов представляет использование в качестве минеральных наполнителей [1-3] метасиликата кальция (волластонита) и кальций-магниевого силиката (диопсида –  $\text{CaMg}(\text{Si}_2\text{O}_6)$ ). Они применяются для производства красок, грунтовок, шпатлевок, сухих смесей, фарфора санитарного назначения, бетона, теплоизоляционных материалов и керамики

строительного и электро-технического назначения, а также в резинах и композициях на основе линейных и сетчатых полимеров [4,5].

Диопсид представляет собой кальций-магний-силикат, который кристаллизуется в моноклинной сингонии [6]. Он содержит порядка 26 % оксида кальция, 18 % оксида магния и около 56 % оксида кремния. Цепочечная структура обуславливает призматический габитус кристаллов диопсида [7].

Природный диопсид обладает высокими электрофизическими и прочностными характеристиками, а также устойчивостью к действию кислот, что обуславливает его использование в качестве основной кристаллической фазы в составе различных видов керамики [8]. Кроме того, он достаточно эффективен как наполнитель полимерных материалов, что показано на примере полиэфирных эпоксидных смол [3,9].

Диопсидсодержащие природные наполнители в нашей стране получают из диопсидовых полиминеральных пород Слюдянского месторождения (Иркутская область). Однако разработка этого месторождения носит ограниченный характер, из-за дороговизны добычи.

Кроме того, требуются большие трудозатраты на измельчение твердой породы, что обуславливает практическое отсутствие дисперсного диопсидсодержащего наполнителя на отечественном рынке, несмотря на его востребованность промышленностью [10]. Это делает актуальным синтез диопсидсодержащих наполнителей на основе доступного, недорогого отечественного сырья [11].

Металлургические шлаки, в состав которых входят кислотный диоксид кремния и основные окислы кальция, магния и железа [12] представляют собой кальций-магний-силикаты и могут рассматриваться как диопсидсодержащие наполнители [13].

Особый интерес, с экономической и экологической точек зрения, представляет применение для получения диопсидсодержащих наполнителей золы рисовой шелухи [14], которая была успешно использована, как источник аморфного диоксида кремния, для синтеза, волластонита [15].

*Цель работы* заключается в определении влияния модифицирующего действия диопсидсодержащих наполнителей на основе техногенного и растительного сырья в эпоксидных композициях на комплекс эксплуатационных показателей

*Задачами исследования* являются: изучение основных свойств диопсидсодержащих наполнителей, таких как фазовый состав, пористость, pH поверхности, маслосмкость; анализ физико-механических характеристик эпоксидных композиций, наполненных данными наполнителями.

## 2. Материалы и методы

В работе использовалась эпоксидная диановая смола ЭД-20 (ГОСТ 10587-84), отверждаемая аминоалкилфенолом (АФ-2) (ТУ 2494-052-00205423-2004) при комнатной температуре в течение 7 суток.

Диопсидсодержащие наполнители получали на основе металлургического шлака (ДС<sub>1</sub>) и золы рисовой шелухи (ДС<sub>2</sub>). Рентгенофазовый количественный анализ (РКФА) проводился на многофункциональном дифрактометре Rigaku SmartLab при параметрах съёмки: угловой интервал от 3° до 65°, с шагом сканирования 0,02, с экспозицией 1 секунда в точке.

Размер частиц наполнителей определялся методом лазерной дифракции в соответствии с ГОСТ Р 8.777-2011.

Площадь удельной поверхности пор ДС оценивали по адсорбции газа методом Брунауэра-Эммета-Теллера (БЭТ), согласно ISO 9277:2010, объем пор по методу ВJН, согласно ISO 15901-2, на анализаторе площади поверхности и размера пор «Nova 1200e»

pH водных вытяжек образцов ДС определялись с помощью комбинированного измерителя SevenMulti по ГОСТ 21119.3-91

Для оценки износостойкости и коэффициента статического трения, эпоксидные покрытия наносились на алюминиевый лист толщиной 1 мм и затем шлифовались до Ra=1,00-1,20 мкм.

Износостойкость наполненных эпоксидных материалов определялась на вертикальном оптиметре ИЗВ-1 при следующем режиме: удельное давление контртела на

испытуемую поверхность образца  $P=1$  МПа, скорость скольжения  $V_{ск}=1$  м/сек, без смазки.

Исследования трибологических свойств наполненных материалов проводились на автоматизированной машине трения (Tribometer, CSM Instruments, Швейцария), управляемой компьютером, по стандартной схеме испытания «шарик-диск» ASTM G99 – 959, DIN50324 и ISO 20808. Линейная скорость при испытании составляла 8,94см/сек, частота выборки – 10 Гц, температура – 25 °С, влажность – 20 %.

Твердость определялась по методу Шора ГОСТ 24621-91.

Адгезионная прочность оценивалась методом отрыва на образцах стали по ГОСТ 32299-2013.

### 3. Результаты и обсуждение

Методом РКФА определен фазовый состав (таблица 1) полученных наполнителей.

Таблица 1

Фазовый состав (%) диоксидсодержащих наполнителей

Тип наполнителя	диоксид	акерманит	форстерит
ДС <sub>1</sub>	23	77	-
ДС <sub>2</sub>	95	3	2

Установлено, что наполнитель на основе металлургического шлака, содержит в 4 раза меньшее количество целевого продукта – диоксида, чем полученный на основе золы рисовой шелухи (ЗРШ). В составе ДС<sub>2</sub> также небольшие концентрации примесей (акерманита и форстерита). Акерманит ( $Ca_2Mg [Si_2O_7]$ ) представляет собой островной мелилит, содержащий оксиды кальция, магния и кремния.

Форстерит ( $Mg_2SiO_4$ ) — ортосиликат магния.

Таблица 2

Характеристики пористости наполнителей

Тип наполнителя	Удельная поверхность пор БЭТ, м <sup>2</sup> /г	Общий объем пор по ВЖН, см <sup>3</sup> /г	Средний диаметр пор по ВЖН, нм	Средний размер частиц, мкм	Удельная поверхность см <sup>2</sup> /см <sup>3</sup>
ДС <sub>2</sub>	0,614	0,001	4,113	76,1	1958
ДС <sub>1</sub>	0,475	-	-	12,4	35264

У диоксидсодержащего наполнителя на основе металлургического шлака значительно меньшая пористость, по сравнению с ДС<sub>2</sub>, синтезированного на основе ЗРШ (таблица 2). Удельная поверхность его пор меньше на 30 %, а их размер не позволяет определять разрешающая способность используемого прибора.

Большее количество частиц ДС<sub>1</sub> имеет размер порядка 50 мкм, а у ДС<sub>2</sub> он варьируется в пределах от 10 до 300 мкм, причем максимальное количество частиц наполнителя на основе растительного сырья имеет диаметр порядка 10 мкм (рис. 1а, 1б).

В тоже время средний размер частиц меньше и их удельная поверхность больше у наполнителя, полученного переработкой отходов черной металлургии (таблица 2).

У обоих исследуемых наполнителей унимодалное распределение частиц по размерам, но несколько более широкое у ДС<sub>1</sub> (рис. 1а, рис. 1б).

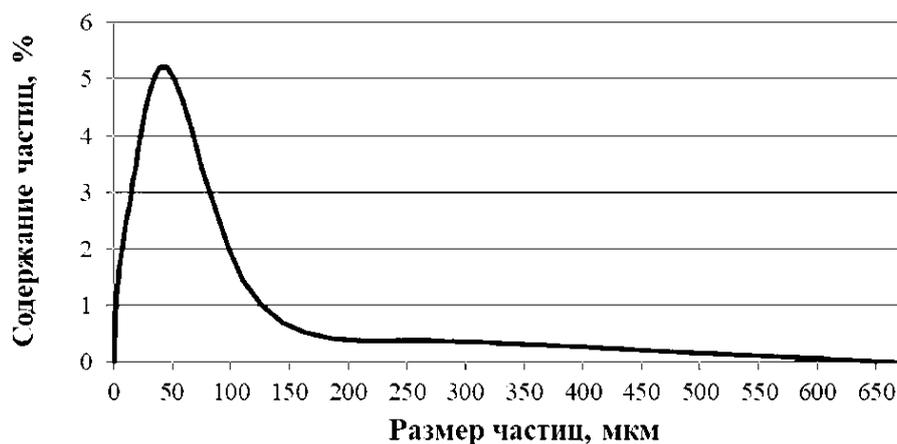


Рис. 1а– Кривая распределения частиц по размерам ДС<sub>1</sub> (иллюстрация авторов)  
 Fig. 1a– Particle size distribution curves DC<sub>1</sub> (illustration by the authors)

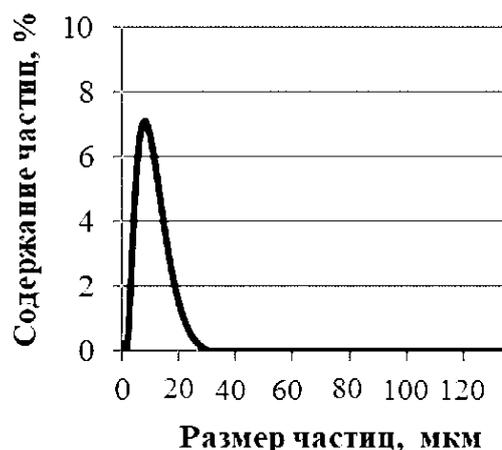


Рис. 1б – Кривая распределения частиц по размерам ДС<sub>2</sub> (иллюстрация авторов)  
 Fig. 1b – Particle size distribution curves DC<sub>2</sub> (illustration by the authors)

Маслоемкость ДС<sub>2</sub> почти в 5 раз выше, чем у ДС<sub>1</sub>, что в определенной степени коррелирует с пористостью этих диоксидсодержащих наполнителей, и связано также с природой исходного сырья.

Наполнитель на основе металлургического шлака имеют выраженную щелочную природу поверхности. рН диоксидсодержащего наполнителя, полученного с применением ЗРШ, (таблица 3) существенно ниже из-за применения при его твердофазном синтезе борной кислоты в качестве плавня [16].

Таблица 3  
 Маслоемкость и кислотно-основные свойства поверхности диоксид содержащих наполнителей

Тип наполнителя	Маслоемкость, г/100 г	рН водной вытяжки при 20°С
ДС <sub>2</sub>	66,9	8.1
ДС <sub>1</sub>	12,8	10,5

Анализ влияния исследованных диоксидсодержащих наполнителей на эксплуатационные характеристики эпоксидных полимеров показал (таблица 4), что имеет место закономерное снижение коэффициента их трения (до 40-42 %) и рост износостойкости (до 33-47 %). То есть улучшаются антифрикционные свойства материалов. Одновременно растет твердость наполненных композиций (до 35%).

При этом, несмотря на большее содержание диопсида в составе наполнителя, полученного на основе ЗРШ, ДС<sub>1</sub> обеспечивает лучшие эксплуатационные характеристики эпоксидных композиций (таблица 4).

Особенно это касается твердости наполненных композитов. Это можно связать с меньшей пористостью ДС<sub>1</sub> и тетрагональной сингонией входящего в его состав акерманита, имеющего столбчатую форму кристаллов [17].

Коэффициент статического трения наполненных ДС<sub>1</sub> и ДС<sub>2</sub> эпоксидных материалов значительно ниже, чем при применении волластонита [15]. Это можно связать с высоким содержанием в составе исследуемых наполнителей диопсида, акерманита и форстерита, включающих оксиды магния, обладающие большей теплопроводностью [18, 19], чем силикаты кальция, что обеспечивает лучший отвод тепла из зоны трения [20, 21].

Таблица 4

Эксплуатационные свойства эпоксидных материалов с диопсидсодержащими наполнителями

Тип наполнителя	Твердость, HSD	Износ, $\times 10^{-6}$ , м	Коэффициент трения	Прочность при отрыве к стали, МПа
Базовый состав	37,2	17,7	0,44	3,02
ДС <sub>1</sub>	50,2	9,7	0,16	3,86
ДС <sub>2</sub>	39,4	10,8	0,17	3,72

Примечание: Содержание наполнителя 20 мас. ч. на 100 мас.ч ЭД-20

Кроме того, диопсидсодержащие наполнители увеличивают адгезию эпоксидных покрытий к стали примерно на 20-25 % (таблица 4).

Таким образом, применение диопсидсодержащих наполнителей является эффективным для модификации эпоксидных полимеров.

#### 4. Заключение

В работе представлены результаты исследований диопсидсодержащих наполнителей, полученных на основе отходов черной металлургии и производства рисовой крупы. Наполнитель на основе металлургического шлака, содержит в 4 раза меньше целевого продукта – диопсида, чем наполнитель на основе ЗРШ. У диопсидсодержащего наполнителя на основе металлургического шлака значительно меньшая пористость, по сравнению с наполнителем, который синтезирован на основе ЗРШ. Удельная поверхность его пор меньше на 30 %

Эпоксидные материалы с диопсидсодержащими наполнителями имеют значительно более низкий коэффициент трения и более высокую твердость и износостойкость. Одновременно растет адгезия к стали наполненных композиций. При этом, наполнитель на основе металлургического шлака в значительно большей степени увеличивает твердость материалов.

#### Список литературы/ References

1. Sangwon Lee , Seunggu Kang. Effect of a ZnO addition on the thermal properties of diopside-based glass ceramics for LED packages // Contemporary Engineering Sciences – 2016. – №29. – P. 1425-1426. DOI:10.12988/ces.2016.69159
2. Сафонова Т.В., Кудисова А.А. Влияние фракционного состава диопсида в массах для производства строительной керамики на ее свойства // Научный альманах – 2016. – №19. – P. 151-155. DOI:10.17117/na.2016.05.03.151. [Safonova T.V., Kudisova A.A. Influence of the fractional composition of diopside in masses for the production of building ceramics on its properties // Scientific almanac - 2016. - No. 19. – P. 151-155. DOI:10.17117/na.2016.05.03.151]
3. Козик В.В., Бородин И.А., Бородин Л.П., Слизов Ю.Г. Влияние природных силикатов на отверждение ненасыщенных полиэфирных смол // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. – 2004. – №1. – С. 112-115. [Kozik V.V., Borodina I.A., Borilo L.P., Slizhov Yu.G. The influence of natural silicates

- on the curing of unsaturated polyester resins // News of higher educational institutions. Chemistry and chemical technology. – 2004. – No. 1. – pp. 112-115]
4. Канаева, Н.С. Анализ кинетики накопления повреждений в структуре эпоксидных полимеров в процессе циклического нагружения / Н.С. Канаева, Д.Р. Низин, Т.А. Низина, А.А. Порватова, А.А. Березенцева // Математическое моделирование в естественных науках. – 2021. – Т. 1. – С. 310-312. [Kanaeva, N.S. Analysis of the kinetics of damage accumulation in the structure of epoxy polymers during cyclic loading / N.S. Kanaeva, D.R. Nizin, T.A. Nizina, A.A. Porvatova, A.A. Berezentseva // Mathematical modelling in natural sciences. – 2021. – Т. 1. – P. 310-312]
  5. Тюльнин В.А., Ткач В.Р., Эйрих В.И. Волластонит – уникальное минеральное сырье многоцелевого назначения // Руда и металлы. – 2020. – №1. – С. 114. [Tyulnin V.A., Tkach V.R., Eirich V.I. Wollastonite is a unique multi-purpose mineral raw material // Ore and metals. – 2020. – No. 1. – P. 114]
  6. Готтлиб Е.М., Ямалеев Е.С., Твердов И.Д. Исследование природного отечественного сырья для получения силикатных наполнителей // Южно-Сибирский научный вестник. – 2022. – №3. – С. 67-73. [Gottlieb E.M., Yamaleev E.S., Tverdov I.D. Study of natural domestic raw materials for the production of silicate fillers // South Siberian Scientific Bulletin. – 2022. – No. 3. – P. 67-73]
  7. Чурсова, Л.В. Эпоксидные смолы, отвердители, модификаторы и связующие на их основе / Л.В. Чурсова, Н.Н. Панина, Т.А. Гребенева, И.Ю. Кутергина. – СПб.: Профессия, 2020. – 576 с. [Chursova, L.V. Epoxy resins, hardeners, modifiers and binders based on them / L.V. Chursova, N.N. Panina, T.A. Grebeneva, I.Yu. Kutergin. – St. Petersburg: Profession, 2020. – 576 p]
  8. David, L.B. A low friction and ultra low wear rate PEEK/PTFE composite / L.B. David, W.S. Gregory // Wear. – 2006. – Vol. 261. – P. 410-418.
  9. Меньшикова В.К., Демина Л.Н. Модификация керамических составов сырьевыми материалами Сибирского региона // Вестник Евразийской науки. – 2020. – №4 – С. 11-19. [Menshikova V.K., Demina L.N. Modification of ceramic compositions with raw materials from the Siberian region // Bulletin of Eurasian Science. – 2020. – No. 4 – P. 11-19]
  10. Каримов, Н.К. Исследование влияния основных факторов на физико-химические свойства композиционных эпоксидных материалов, применяемых в качестве антифрикционных и антикоррозионных покрытий / Н.К. Каримов, И.Н. Ганиев, Н.С. Олимов // Доклады Академии наук Республики Таджикистан «Композиционные материалы». – 2008. – Т. 51. – № 9. – С. 685-689 [Karimov, N.K. Study of the influence of the main factors on the physicochemical properties of composite epoxy materials used as antifriction and anticorrosion coatings / N.K. Karimov, I.N. Ganiev, N.S. Olimov // Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan “Composite materials”. – 2008. – Т. 51. – No. 9. – P. 685-689]
  11. Верещагин В.И., Могилевская Н.В., Сафонова Т.В. Спекание и прочность стеновой керамики и фаянса из композиций глинистого и диопсидсодержащего сырья // Вестник ТГАСУ. – 2019. – №6. – С. 122-131. DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-122-133 [Vereshchagin V.I., Mogilevskaya N.V., Safonova T.V. Sintering and strength of wall ceramics and faience from compositions of clay and diopside-containing raw materials // Bulletin of TGASU. – 2019. – No. 6. – pp. 122-131. DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-122-133]
  12. Пат. № 2374275, Российская Федерация, МПК C08J 5/16, C08L63/00, C08K 3/34 Антифрикционная полимерная композиция и способ ее изготовления / О.В. Зазимко, И.Ф. Пустовой, Д.Н. Любимов, К.Н. Долгополов; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество «Нанопром» – № 2008133853/04; заявл. 19.08.2008; опубл. 27.11.2009, Бюл. № 33. – 8 с. [Pat. No. 2374275, Russian Federation, IPC C08J 5/16, C08L63/00, C08K 3/34 Antifriction polymer composition and method of its manufacture / O.V. Zazimko, I.F. Pustovoy, D.N. Lyubimov, K.N. Dolgoplov; applicant and patent holder Open Joint Stock Company Nanoprom – No. 2008133853/04; application 08/19/2008; publ. 27.11.2009, Bulletin. No. 33. – 8 p]

13. Готлиб, Е.М. Волластонит и диопсид, содержащие наполнители эпоксидных материалов на основе сельскохозяйственных и техногенных отходов / Е.М. Готлиб, И.Д. Твердов, Т.Н.Ф. Ха, Е.С. Ямалева // Вестник технологического университета. – 2022. – Т. 25. – №8. – С. 164-174. [Gottlieb, E.M. Wollastonite and diopside containing fillers of epoxy materials based on agricultural and technogenic waste / E.M. Gottlieb, I.D. Tverdov, T.N.F. Ha, E.S. Yamaleeva // Bulletin of the Technological University. – 2022. – Т. 25. – No. 8. – P. 164-174]
14. Валеева А.Р. Утилизация рисовой шелухи путем получения наполнителей на ее основе / Е.М. Готлиб, А.Р. Валеева, Р.Ш. Нцуму, А.Р. Гимранова, Э.Р. Галимов // Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования Сборник докладов Всероссийской научной конференции. Изд-во: Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, Белгород. – 2020. – С. 113-118. [Valeeva A.R. Utilization of rice husk by obtaining fillers based on it / E.M. Gottlieb, A.R. Valeeva, R.Sh. Ntsumu, A.R. Gimranova, E.R. Galimov // Safety, protection and conservation of the natural environment: fundamental and applied research Collection of reports of the All-Russian Scientific Conference. Publishing house: Belgorod State Technological University named after. V.G. Shukhova, Belgorod. – 2020. – P. 113-118]
15. Nogueira, R. L., Soares, J. B., Soares, S. de A. Rheological evaluation of cotton seed oil fatty amides as a rejuvenating agent for RAP oxidized asphalts // Construction and Building Materials. – 2019. Vol. 223. – P. 1145–1153. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2019.06.
16. Razali M. N., EzatieMohd Isa S. N., MdSalehanN. A., Musa M., Abd Aziz M. A., Nour A. H., Yunus R. M. Formulation of Emulsified Modification Bitumen from Industrial Wastes // Indonesian Journal of Chemistry. – 2020. Vol. 20. – P. 96–104. DOI:10.22146/ijc.40888.
17. Valeeva, A.R. Anti-friction epoxy coatings modified with rice husk / A.R. Valeeva, A.R. Gimranova, E.M. Gotlib, E.R. Galimov // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – № 3. – P. 1-8.
18. Готлиб, Е.М. Волластонит – эффективный наполнитель резин и полимерных материалов на основе линейных и сетчатых полимеров: монография / Е.М. Готлиб и др. – Lambert Academic Publishing, 2017. – 180 с [Gottlieb, E.M. Wollastonite is an effective filler for rubber and polymer materials based on linear and network polymers: monograph / E.M. Gottlieb et al. – Lambert Academic Publishing, 2017. – 180 p]
19. Хантимиров А.Г., Абдрахманова Л.А., Низамов Р.К. Исследование свойств наномодифицированных древесно-полимерных композитов на основе полиэтилена // Нанотехнологии в строительстве. – 2023. – № 3 - с.110-116 [Khantimirov A.G., Abdrakhmanova L.A., Nizamov R.K. Study of the properties of nanomodified wood-polymer composites based on polyethylene // Nanotechnologies in construction. – 2023. – No. 3 - P.110-116]
20. Хозин, В. Г. Карбонатные цементы низкой водопотребности - перспективные вяжущие для бетонов / В. Г. Хозин, О. В. Хохряков, Р. К. Низамов // Бетон и железобетон. – 2020. – № 1(601). – С. 15-28. – EDN VIDDBF. [Khozin, V. G. Carbonate cements of low water demand - promising binders for concrete / V. G. Khozin, O. V. Khokhryakov, R. K. Nizamov // Concrete and reinforced concrete. – 2020. – No. 1(601). – P. 15-28. – EDN VIDDBF]
21. Galeev, R. Nanomodified organic-inorganic polymeric binders for polymer building materials / R. Galeev, L. Abdrakhmanova, R. Nizamov // Solid State Phenomena. – 2018. – Vol. 276. – P. 223-228. – DOI 10.4028/www.scientific.net/SSP.276.223. – EDN YBYFXF.

#### Информация об авторах

**Готлиб Елена Михайловна**, докт. техн. наук, профессор, Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, Российская Федерация  
Email: egotlib@yandex.ru

**Твердов Илья Дмитриевич**, инженер 1 категории, Комплексная лаборатория «НаноАналитика», г. Казань, Российская Федерация

E-mail: idtverdov@gmail.com

**Галимов Энгель Рафикович**, докт. техн. наук, профессор, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: 89871726737@mail.ru

**Долгова Алина Викторовна**, студент бакалавриата, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань, Российская Федерация

Email: alinkadolgova@icloud.com

**Гимранова Альмира Рамазановна**, кан. техн. наук, старший преподаватель, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань, Российская Федерация

Email: miracle543543@mail.ru

#### Information about the authors

**Elena M. Gotlib**, doctor technical sciences, professor, Kazan National Research Technological University, Kazan, Russian Federation

Email: egotlib@yandex.ru

**Ilya D. Tverdov**, engineer of the 1st category, Complex Laboratory «NanoAnalytics», Kazan, Russian Federation

E-mail: idtverdov@gmail.com

**Engel R. Galimov**, doctor technical sciences, professor, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan, Russian Federation

Email: 89871726737@mail.ru

**Alina V. Dolgova**, undergraduate student, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan, Russian Federation

Email: alinkadolgova@icloud.com

**Almira R. Gimranova**, candidate of technical sciences, senior Lecturer, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan, Russian Federation

Email: miracle543543@mail.ru