

Эпоксидные композиты с повышенными эксплуатационными характеристиками, наполненные дисперсными минеральными наполнителями

Антон С. Мостовой¹ Mostovoy19@rambler.ru
Айнур С. Нуртазина¹ nurtazina_83@mail.ru
Юлия А. Кадькова¹ kadykova06@yandex.ru

¹Энгельский технологический институт (филиал) «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Пл. Свободы, 17, г. Энгельс, 413100, Россия

Реферат. Целью данной работы является повышение физико-химических, деформационно-прочностных свойств и снижение горючести композитов на основе эпоксидной смолы путём введения модификатора полифункционального действия олиго(резорцинфенилфосфата) с концевыми фенильными группами и дисперсных минеральных наполнителей – диорита и хромита. В результате проведенных исследований установлено оптимальное содержание модификатора в составе эпоксидного композита – 40 масс.ч., обеспечивающее повышение эксплуатационных свойств композитов: в 2 раза возрастает изгибающее напряжение, на 28% повышается прочность при сжатии, в 2 раза возрастает ударная вязкость, при этом незначительно снижается модуль упругости и твердость композитов. Введение модификатора в эпоксидный полимер обеспечивает повышение термостойкости с 86 до 132–156 °С, а так же увеличение термостойкости композита, что проявляется в смещении начальной температуры основной стадии деструкции в область более высоких температур (с 200 до 230 °С), при этом, также отмечено повышение выхода карбонизованных структур с 40 до 54 %, обеспечивающее уменьшение выделения летучих продуктов пиролиза в газовую фазу, что приводит к снижению горючести эпоксидного композита и проявляется в снижении его потерь массы при поджигании на воздухе с 78 до 4,7% и возрастании кислородного индекса с 19 до 28% объемных, что переводит материал в класс трудновоспламеняемых. Выбрано рациональное содержание диорита и хромита как наполнителя (100 масс.ч. хромита и 50 масс.ч. диорита), обеспечивающее повышение физико-механических характеристик и снижение себестоимости продукции: на 15–30% возрастает изгибающее напряжение и в 3,5–4,5 раза повышается модуль упругости при изгибе, на 35% возрастает прочность и на 50–240% модуль упругости при растяжении, на 68–95% возрастает твердость, при этом удается сохранить ударную вязкость на уровне ненаполненного пластифицированного композита. Кроме того, доказано, что введение как диорита, так и хромита обеспечивает повышение термо- и термостойкости эпоксидных композитов, а также приводит к снижению горючести эпоксидного композита: снижаются потери массы при поджигании на воздухе до 1,2–2,2% и возрастает кислородный индекс с 28 до 30–35% объемных, таким образом, материал не поддерживает горение на воздухе и относится к классу трудновоспламеняемых. Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта для молодых ученых СГТУ имени Гагарина Ю.А. (проект СГТУ-287).

Ключевые слова: Эпоксидная смола, модификация, замедлители горения, снижение горючести, свойства

Epoxy composites with increased operational characteristics, filled with dispersed mineral fillers

Anton S. Mostovoi¹ Mostovoy19@rambler.ru
Ainur S. Nurtazina¹ nurtazina_83@mail.ru
Yulia A. Kadykova¹ kadykova06@yandex.ru

¹Engels Technological Institute of Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Liberty Square, 17, Engels, 413100, Russia

Summary. The aim of this work is to increase the physicochemical, deformation and strength properties and to reduce the combustibility of composites on the base of epoxy resin by introducing a oligo(resorcinophenyl phosphate) with terminal phenyl groups Fyrolflex - modifier of polyfunctional action, and disperse mineral fillers – diorite and chromite. Result of the studies established that the optimum amount of modifier in the composition of the epoxy resin is 40 mass parts, which provides an increase in the operational properties of the composites: the breaking stress at bending increases by 2 times, the breaking stress at compression increases by 28%, the impact strength increases twice, while the modulus of elasticity and hardness of composites slightly decrease. The addition of modifier into the epoxy polymer provides an increase in heat resistance from 86 to 132–156 °C, also it improves the thermal stability of the composite, which manifests itself in a shift from the initial temperature to higher temperatures (from 200 to 230 °C), while it is noticed furthermore that yield of carbonized Structures was risen from 40 to 54%, providing less release of volatile pyrolysis products into the gas phase, which leads to the decrease in flammability of the epoxy composite and it can be shown in the reduction of its loss in mass while cauterizing in air from 78 to about 4.7% and an increase in the oxygen index from 19 to 28% by volume what transfers the material into class with low flammability. The rational content of diorite and chromite (100 parts by weight of chromite and 50 parts by mass of diorite) is chosen as a filler, which ensures an increase in physical and mechanical characteristics and a reduction in the cost of production: the breaking stress increases by 15–30% and the elastic modulus at bending increases 3.5–4.5 times, the breaking stress increases by 35%, and the tensile modulus by 50–240%, the hardness increases by 68–95%, while the impact strength remains at the level of the unfilled plasticized composite. In addition, it is proved that the addition of both diorite and chromite provides an increase in the thermal and heat resistance of epoxy composites, also lowers combustibility of the epoxy composite: the weight loss at ignition in air is reduced to 1.2–2.2% and the oxygen index rises from 28 to 30–35% by volume, thus the material does not support combustion in air and belongs to the class of hardly flammable. The study was carried out with the financial support of a grant for young scientists of the SSTU named after Gagarin Yu.A. (project SGTU-287).

Keywords: Epoxy resin, modification, flame retardants, reduction of flammability, properties

Для цитирования

Мостовой А.С., Нуртазина А.С., Кадькова Ю.А. Эпоксидные композиты с повышенными эксплуатационными характеристиками, наполненные дисперсными минеральными наполнителями // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 3. С. 330–335. doi:10.20914/2310-1202-2018-3-330-335

For citation

Mostovoi A.S., Nurtazina A.S., Kadykova Yu.A. Epoxy composites with increased operational characteristics, filled with dispersed mineral fillers. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. mvol. 80. no. 3. pp. 330–335 (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-3-330-335

Введение

Полимерные композиционные материалы на основе эпоксидных смол обладают рядом ценных свойств: высокие диэлектрические показатели, повышенная механическая прочность, водостойкость, малая усадка при переходе в шитое состояние, хорошая адгезия к металлам, фарфору, стеклу. Это позволяет использовать их в качестве связующих при производстве полимерных композитов, лаков, клеев, пропиточных и заливочных компаундов [1–2, 7–9, 12].

Вместе с этим они имеют ряд отрицательных качеств: повышенная хрупкость, пожароопасность, низкая стойкость к действию климатических факторов [1–10].

Легкая воспламеняемость эпоксидных смол обусловлена тем, что продуктами деструкции отвержденной эпоксидной смолы являются летучие продукты, которые содержат значительное количество горючих соединений (ацетон, оксид углерода, ацетальдегид, формальдегид). Вместе с тем при воздействии повышенных температур при пиролизе эпоксидных смол формируется карбонизованный остаток. Его образование является результатом того, что эпоксидные олигомеры, отвержденные аминами, при воздействии температур склонны к дегидратации вследствие отрыва атома водорода от ароматического и алифатического звеньев цепи с последующей конденсацией углеродных остатков и образованием квазиграфитовой структуры [3, 7–10].

Поэтому весьма эффективным методом снижения горючести является использование замедлителей горения (ЗГ), оказывающих влияние на процессы структурирования полимера при воздействии на него повышенных температур. Применение соединений, которые катализируют пиролитические процессы, способствующие коксообразованию, обеспечивает снижение загрязнения окружающей среды. К таким соединениям для эпоксидных смол относятся фосфорсодержащие ЗГ [3, 7–10], в том числе олиго (резорцинфенилфосфат) с концевыми фенильными группами (ОРФФ), который одновременно с влиянием на процессы при пиролизе и горении влияет на технологические и эксплуатационные свойства композитов, оказывая пластифицирующее действие.

Большие потенциальные возможности улучшения характеристик композиционных материалов заложены в использовании как пластификаторов, так и недорогих и эффективных наполнителей [5–8], в число которых входят дисперсные минеральные наполнители, в частности, измельченные диорит и хромит.

Цель работы – повышение физико-химических, деформационно-прочностных свойств и снижение горючести композитов на основе эпоксидной смолы путём введения модификатора полифункционального действия ОРФФ и дисперсных минеральных наполнителей – диорита и хромита.

Материалы и методы

Разрабатывались составы на основе эпоксидной диановой смолы марки ЭД-20 (ГОСТ 10587-93). В качестве отвердителя эпоксидного олигомера применялся отвердитель аминного типа – полиэтиленполиамин (ПЭПА) (ТУ 6-02-594-85), способный формировать трехмерную сетчатую структуру в отсутствие нагрева.

Для пластификации эпоксидных композитов в работе использовали олиго (резорцинфенилфосфат) с концевыми фенильными группами (ОРФФ), представляющий собой олигомерный безгалогенный пластификатор с антипиреновыми свойствами, разработанный специально для использования в качестве антипирена для конструкционных полимеров. По сравнению с другими безгалогенными (фосфатными) антипиренами относительно стабилен при низкой летучести, удовлетворяя технологическим требованиям производства большинства технических пластиков (начало термической деструкции при +300 °С). Преимущество ОРФФ над другими бис-фосфатами заключается в более низкой вязкости, что облегчает обращение с продуктом и улучшает его технологические свойства (более низкая температура смешивания).

Выбор ОРФФ обусловлен наличием в его составе ингибитора горения – фосфора (10,7%), который структурирует эпоксидный полимер при воздействии на него повышенных температур и обеспечивает увеличение выхода карбонизованных структур, что снижает горючесть эпоксидного композита [7–10].

В работе применялись следующие методы исследования свойств:

- определение разрушающего напряжения при изгибе [ГОСТ 4648–71],
- определение разрушающего напряжения при растяжении [ГОСТ 11262–80];
- определение модуля упругости при растяжении и изгибе [ГОСТ 9550–81];
- определение разрушающего напряжения при сжатии [ГОСТ 4648–71];
- определение ударной вязкости [ГОСТ 4647–80];
- определение твердости по Бринеллю [ГОСТ 4670–91];
- определение теплостойкости по Вика [ГОСТ 15088–83];
- определение кислородного индекса [ГОСТ 21793–76];

• изменение массы, скорости изменения массы и величин тепловых эффектов при нагреве образцов изучалось с применением метода термогравиметрического анализа с использованием дериватографа системы «Паулик–Паулик–Эрдей» фирмы MOM марки Q-1500D, [ГОСТ 29127–91].

Результаты и обсуждение

В эпоксидный олигомер ОРФФ вводился в количестве 20–50 масс. ч. Проведенные исследования показали, что рациональным содержанием ОРФФ в составе эпоксидной

композиции является 40 масс. ч., так как при этом достигаются более высокие показатели исследуемых физико-механических свойств: в 2 раза возрастает изгибающее напряжение, на 28% повышается прочность при сжатии, в 2 раза возрастает ударная вязкость, при этом незначительно снижается модуль упругости и твердость композитов (таблица 1).

Дальнейшее увеличение содержания ОРФФ приводит к снижению физико-механических характеристик эпоксидных композитов.

Свойства эпоксидных композитов

Таблица 1.

Properties of epoxy composites

Table 1.

Состав композиции, масс. ч., отвержденной 15 масс. ч. ПЭПА Composition, wt. h, hardened 15 wt. h. PEPA	$G_{из}$, МПа G_{iz} , MPa	$E_{из}$, МПа E_{iz} , MPa	$G_{сж}$, МПа G_{sj} , MPa	$a_{уд}$, кДж/м ² a_{ud} , kJ/m ²	H_B , МПа H_B , MPa
100ЭД-20	40	2654	78	3	225
100ЭД-20+20ОРФФ	65	1591	89	4	220
100ЭД-20+30ОРФФ	71	2027	95	4	190
100ЭД-20+40ОРФФ	80	2210	100	6	175
100ЭД-20+50ОРФФ	75	2059	110	5	155

Примечание: $G_{из}$ – изгибающее напряжение; $E_{из}$ – модуль упругости при изгибе; $G_{сж}$ – прочность при сжатии; $a_{уд}$ – ударная вязкость; H_B – твердость по Бринеллю; коэффициент вариации по свойствам 3–5%.

Note: G_{iz} – bending stress; E_{iz} – flexural modulus; G_s – compressive strength; a_{ud} – impact strength; H_B – Brinell hardness; coefficient of variation by properties of 3–5%.

Введение 40 масс. ч. ОРФФ в эпоксидный полимер обеспечивает повышение термостойкости с 86 до 132 °С, а также увеличение термостойкости композита, что проявляется в смещении начальной температуры основной стадии деформации в область более высоких температур (с 200 до 230 °С). При этом отмечено повышение выхода карбонизованных структур с 40 до 54%, обеспечивающее уменьшение выделения летучих продуктов пиролиза в газовую фазу, что приводит к снижению горючести эпоксидного композита и проявляется в снижении потерь его массы при поджигании на воздухе с 78,0 до 4,7% и возрастании кислородного индекса с 19 до 28% объемных, что переводит материал в класс трудновоспламеняемых.

В дальнейших исследованиях с целью повышения эксплуатационных свойств эпоксидных композитов и снижения их себестоимости применяли недорогие, но эффективные наполнители, в число которых входят дисперсные минеральные наполнители, в частности, тонкоизмельченные диорит и хромит.

Изучение химического состава наполнителей проводили методом рентгенофлуоресцентного анализа, таблица 2.

В результате проведенных исследований установлено, что хромит преимущественно состоит из оксидов хрома (II), железа (III), кремния, алюминия, титана, карбонат кальция, а диорит – из оксидов железа (III), кремния,

кальция, алюминия и титана. Такой состав свидетельствует об их экологической безопасности и возможности использования в качестве наполнителей эпоксидного композита.

Химический состав наполнителей

Таблица 2.

Chemical composition of fillers

Table 2.

Компонент	Концентрация, %
Хромит	
CrO	43,23
CaCO ₃	21,42
Fe ₂ O ₃	17,73
SiO ₂	13,06
Al ₂ O ₃	3,03
Ni	0,82
Cu	0,34
TiO ₂	0,15
Zn	0,11
S	0,08
P	0,03
Диорит	
Fe ₂ O ₃	41,23
SiO ₂	22,86
CaO	20,30
Al ₂ O ₃	10,78
TiO ₂	2,39
Cu	1,25
Mn	0,72
K	0,31
P	0,09
S	0,06

Частички тонкоизмельченных диорита и хромита имеют неправильную форму со средним размером частиц 3–15 мкм.

В качестве полимерной матрицы использован ранее разработанный нами состав, состоящий из 100 масс. ч. эпоксидной смолы марки ЭД-20, 40 масс. ч. ОРФФ и 15 масс. ч. ПЭПА.

В эпоксидную композицию хромит и диорит вводились от 50 до 150 масс. ч. Для повышения равномерности распределения наполнителей, а также активации их поверхности и связующего применялась ультразвуковая обработка состава. Параметры ультразвукового воздействия: частота УЗ – 22±2 кГц, продолжительность 60 мин [11].

Проведенные исследования показали, что наиболее рациональным является введение 100 масс. ч. хромита и 50 масс. ч. диорита, так как при этом обеспечивается повышение физико-механических характеристик и снижается себестоимость продукции: на 15–30% возрастает разрушающее напряжение и в 3,5–4,5 раза повышается модуль упругости при изгибе, на 35% возрастает разрушающее напряжение и на 50–240% модуль упругости при растяжении, на 68–95% возрастает твердость. При этом удается сохранить ударную вязкость на уровне ненаполненного пластифицированного композита (таблица 3).

Таблица 3.

Свойства эпоксидных композитов

Table 3.

Properties of epoxy composites

Состав композиции, масс. ч., отвержденной 15 масс. ч. ПЭПА Composition, wt. h., hardened 15 wt. h. PEPA	G _{из} , МПа G _{iz} , MPa	E _{из} , МПа E _{iz} , MPa	G _р , МПа G _r , MPa	E _р , МПа E _r , MPa	a _{уд} , кДж/м ² a _{ud} , kJ/m ²	H _в , МПа H _b , MPa
100ЭД-20+40ОРФФ	80	2210	30	1896	6,0	175
100ЭД-20+40ОРФФ+100Хромит	92	10376	41	2737	5,5	345
100ЭД-20+40ОРФФ+50Диорит	105	8058	42	4600	5,0	295

Примечание: G_{из} – изгибающее напряжение; E_{из} – модуль упругости при изгибе; G_р – прочность при растяжении; E_р – модуль упругости при растяжении; a_{уд} – ударная вязкость; H_в – твердость по Бринеллю; коэффициент вариации по свойствам 5–7%.

Note: G_{iz} – bending stress; E_{iz} – flexural modulus; G_r – tensile strength; E_r – tensile modulus a_{ud} – impact strength; H_b – Brinell hardness; coefficient of variation by properties of 5–7%.

Вследствие того что диорит и хромит являются термостойкими материалами, их введение в эпоксидный композит приводит к повышению теплостойкости по Вика с 132 до 160–222 °С (таблица 4).

Введение (диорита/хромита) в эпоксидный композит обеспечивает повышение термостойкости композита, что проявляется в смещении начальной температуры основной стадии деградации в область более высоких температур (с 230 до 240–245 °С). При этом отмечено

повышение выхода карбонизованных структур с 54 до 68–81%, обеспечивающего уменьшение выделения летучих продуктов пиролиза в газовую фазу, что приводит к снижению горючести эпоксидного композита и проявляется в снижении потерь его массы при поджигании на воздухе до 1,2–2,2% и возрастании кислородного индекса с 28 до 30–35% объемных. Таким образом, материал относится к классу трудновоспламеняемых (таблица 4).

Таблица 4.

Физико-химические свойства эпоксидных композитов

Table 4.

Physico-chemical properties of epoxy composites

Состав композиции, масс. ч., отвержденной 15 масс. ч. ПЭПА Composition, wt. h., hardened 15 wt. h. PEPA	T ₁ –T ₂ °С	Выход карбонизованных структур при T ₂ , % масс. Output of carbonized structures at T ₂ , % mass	Δm, %	КИ, % объем. OI, % volume	T _в , °С
100ЭД-20	200–390	40 (390 °С)	78	19	86
100ЭД-20+40ОРФФ	230–370	54 (370 °С)	4,7	28	132
100ЭД-20+40ОРФФ+50Диорит	245–380	70 (380 °С)	2,2	30	180
100ЭД-20+40ОРФФ+100Диорит	245–370	77 (370 °С)	1,8	32	188
100ЭД-20+40ОРФФ+50Хромит	240–360	68 (360 °С)	2,0	30	160
100ЭД-20+40ОРФФ+100Хромит	242–350	77 (350 °С)	1,7	33	192
100ЭД-20+40ОРФФ+150Хромит	245–350	81 (360 °С)	1,2	35	222

Примечание: T₁, T₂ – начальная и конечная температура основной стадии термоллиза; Δm – потери массы при поджигании на воздухе; КИ – кислородный индекс; T_в – теплостойкость по Вика.

Note: T₁, T₂ – initial and final temperature of the main stage of thermolysis; Δm – weight loss during ignition in air; OI – oxygen index; T_b – heat resistance according to Vica.

Заключение

В результате проведенных исследований установлено оптимальное содержание ОРФФ в составе эпоксидной композиции – 40 масс. ч., обеспечивающее повышение эксплуатационных свойств композитов. Доказано, что введение ОРФФ в эпоксидный полимер обеспечивает повышение теплостойкости с 86 до 132 °С. Выбрано рациональное содержание диорита и хромита как наполнителя (100 масс. ч. хромита и 50 масс. ч. диорита), обеспечивающее повышение физико-механических характеристик и снижение себестоимости продукции: на 15–30% возрастает разрушающее напряжение и в 3,5–4,5 раза повышается модуль упругости при изгибе, на 35% возрастает разрушающее напряжение и на 50–240% – модуль упругости

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Radoman T.S., Dzunuzovic J.V., Jeremic K.B., Grgur B.N. et al. Improvement of epoxy resin properties by incorporation of TiO₂ nanoparticles surface modified with gallic acid esters // *Materials and Design*. 2014. № 62. P. 158–167.
- 2 Kumara R., Kumarb K., Sahooc P., Bhowmika S. Study of mechanical properties of wood dust reinforced epoxy composite // *Procedia Materials Science*. 2014. № 6. P. 551–556.
- 3 Qian L., Qiu Y., Sun N., Xu M. et al. Pyrolysis route of a novel flame retardant constructed by phosphaphenanthrene and triazine-trione groups and its flame-retardant effect on epoxy resin // *Polymer Degradation and Stability*. 2014. № 107. P. 98–105.
- 4 Осипов П.В., Осипчик В.С., Смотров С.А., Савельев Д.Н. Регулирование свойств наполненных эпоксидных олигомеров // *Пластические массы*. 2011. № 4. С. 3–5.
- 5 Стухляк П.Д., Карташов В.В., Соривка И.Т., Скороход А.З. Влияние ферромагнитных наполнителей на ударную вязкость и седиментационную стойкость эпоксидных композитов, сформированных под воздействием переменного магнитного поля // *Перспективные материалы*. 2013. № 6. С. 63–68.
- 6 Старокадомский Д.Л., Ткаченко А.А., Гарашенко И.И. Изменение свойств композита полиэпоксид-нанокремнезём после модифицирования поверхности наполнителя исходной эпоксидной смолой // *Пластические массы*. 2015. № 5–6. С. 50–55.
- 7 Еремеева Н.М., Никифоров А.В., Свешникова Е.С., Панова Л.Г. Исследование свойств эпоксидных композиций на основе модифицированных целлюлозо-содержащих материалов // *Молодой ученый*. 2015. № 24.1 (104.1). С. 20–23.
- 8 Плакунова Е.В., Панова Л.Г. Исследование возможности использования технологических отходов химических производств в качестве наполнителей полимерных матриц // *Химическая промышленность*. 2013. Т. 90. № 6. С. 295–301.
- 9 Мостовой А.С., Плакунова Е.В., Панова Л.Г. Разработка огнестойких эпоксидных композиций и исследование их структуры и свойств // *Перспективные материалы*. 2014. № 1. С. 37–43.

при растяжении, на 68–95% возрастает твердость. При этом удается сохранить ударную вязкость на уровне ненаполненного пластифицированного композита.

Кроме того, доказано, что введение как диорита, так и хромита обеспечивает повышение термо- и теплостойкости эпоксидных композитов, а также приводит к снижению горючести эпоксидного композита: снижаются потери массы при поджигании на воздухе до 1,2–2,2% и возрастает кислородный индекс с 28 до 30–35% объемных. Таким образом, материал не поддерживает горение на воздухе и относится к классу трудновоспламеняемых.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта для молодых ученых СГТУ имени Гагарина Ю.А. (проект СГТУ-287).

10 Ширшова Е.С., Татаринцева Е.А., Плакунова Е.В., Панова Л.Г. Изучение влияния модификаторов на свойства эпоксидных композиций // *Пластические массы*. 2006. № 12. С.34–36.

11 Mostovoi A.S., Yakovlev E.A., Burmistrov I.N., Panova L.G. Use of Modified Nanoparticles of Potassium Polytitanate and Physical Methods of Modification of Epoxy Compositions for Improving Their Operational Properties // *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2015. V. 88. № 1. P. 129–137.

12 Садыгов Ш.Ф., Ищенко Н.Я., Агаева С.А. Модификация ЭД-20 глицидными эфирами некоторых бензойных кислот // *Пластические массы*. 2008. № 3. С. 24–26.

REFERENCES

- 1 Radoman T.S., Dzunuzovic J.V., Jeremic K.B., Grgur B.N. et al. Improvement of epoxy resin properties by incorporation of TiO₂ nanoparticles surface modified with gallic acid esters. *Materials and Design*. 2014. no. 62. pp. 158–167.
- 2 Kumara R., Kumarb K., Sahooc P., Bhowmika S. Study of mechanical properties of wood dust reinforced epoxy composite. *Procedia Materials Science*. 2014. no. 6. pp. 551–556.
- 3 Qian L., Qiu Y., Sun N., Xu M. et al. Pyrolysis route of a novel flame retardant constructed by phosphaphenanthrene and triazine-trione groups and its flame-retardant effect on epoxy resin. *Polymer Degradation and Stability*. 2014. no. 107. pp. 98–105.
- 4 Osipov P.V., Osipchik V.S., Smotrova S.A., Savelev D.N. Controlling the properties of filled epoxy oligomers. *Plasticheskie massy* [Plastics]. 2011. no 4. pp 3–5. (in Russian)
- 5 Stuhljak P.D., Kartashov V.V., Sorivka I.T., Skoroход A.Z. Influence of ferromagnetic fillers on impact strength and sedimentation resistance of epoxycomposites, formed under alternating magnetic field. *Perspektivnye materialy* [Perspective materials]. 2013. no. 6. pp. 63–68. (in Russian)
- 6 Starokadomskij D.L., Tkachenko A.A., Garashenko I.I. Change of composite properties of polyepoxide-nanokremnezem after surface modification of filler by initial epoxy resin. *Plasticheskie massy* [Plastics]. 2015. no 5–6. pp. 50–55. (in Russian)

7 Eremeeva N.M., Nikiforov A.V., Sveshnikova E.S., Panova L.G. Studying the properties of epoxy compositions based on modified cellulose materials. *Molodoy uchenyj* [Young scientist]. 2015. no. 24.1 (104.1). pp. 20–23. (in Russian)

8 Plakunova E.V., Panova L.G. Study the possibility of using technological chemical production waste as fillers of polymer matrices. *Himicheskaja promyshlennost'* [Chemical industry]. 2013. vol. 90. no 6. pp. 295–301. (in Russian)

9 Mostovoi A.S., Plakunova E.V., Panova L.G. Development of flame retardant epoxy composites and study of their structure and properties. *Perspektivnye materialy* [Perspective materials]. 2014. no. 1. pp. 37–43. (in Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Антон С. Мостовой к.т.н., доцент, кафедра «Естественные и математические науки», Энгельский технологический институт (филиал) «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Пл. Свободы, 17, г. Энгельс, 413100, Россия, Mostovoy19@rambler.ru

Айнур С. Нуртазина аспирант, кафедра «Технология и оборудование химических, нефтегазовых и пищевых производств», Энгельский технологический институт (филиал) «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Пл. Свободы, 17, г. Энгельс, 413100, Россия, nurtazina_83@mail.ru

Юлия А. Кадыкова д.т.н., зав. кафедрой, кафедра «Экономика и гуманитарные науки», Энгельский технологический институт (филиал) «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Пл. Свободы, 17, г. Энгельс, 413100, Россия, kadykova06@yandex.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Антон С. Мостовой провел эксперимент, написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Айнур С. Нуртазина обзор литературных источников по исследуемой проблеме, выполнила расчёты

Юлия А. Кадыкова консультация в ходе исследования

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 05.06.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 05.06.2018

10 Shirshova E.S., Tatarinceva E.A., Plakunova E.V., Panova L.G. Study of the effect of modifiers on the properties of epoxy compositions. *Plasticheskie massy* [Plastics]. 2006. no 12. pp. 34–36. (in Russian)

11 Mostovoi A.S., Yakovlev E.A., Burmistrov I.N., Panova L.G. Use of Modified Nanoparticles of Potassium Polytitanate and Physical Methods of Modification of Epoxy Compositions for Improving Their Operational Properties. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2015. vol. 88. no. 1. pp. 129–137.

12 Sadygov Sh.F. Ishhenko N.Ja., Agaeva S.A. Modification of the ED-20 glycidyl esters of certain benzoic acids. *Plasticheskie massy* [Plastics]. 2008. no 3. pp. 24–26. (in Russian)

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Anton S. Mostovoi Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, department of Natural and Mathematical Sciences, Engels Technological Institute of Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Liberty Square, 17, Engels, 413100, Russia, Mostovoy19@rambler.ru

Ainur S. Nurtazina graduate student, department "Technology and equipment of chemical, oil and gas and food industries", Engels Technological Institute of Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Liberty Square, 17, Engels, 413100, Russia, nurtazina_83@mail.ru

Yulia A. Kadykova Dr. Sci. (Engin.), head of the department, department of Economics and Humanities, Engels Technological Institute of Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Liberty Square, 17, Engels, 413100, Russia, kadykova06@yandex.ru

CONTRIBUTION

Anton S. Mostovoi conducted an experiment, wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Ainur S. Nurtazina review of the literature on an investigated problem, performed computations

Yulia A. Kadykova consultation during the study

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 6.5.2018

ACCEPTED 6.5.2018