



Научная статья

2.6.11 – Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов (технические науки)
УДК 678.6

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.026



ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ЭПОКСИДНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА, НАПОЛНЕННОГО МОДИФИЦИРОВАННЫМИ МИНЕРАЛЬНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ

Амирбек Зарлыкович Бекешев¹, Юлия Александровна Кадыкова²,
Светлана Геннадьевна Калганова³, Антон Станиславович Мостовой⁴,
Ляззат Кнашевна Тастанова⁵, Маржан Кушкинбаевна Ахметова⁶,
Берикбай Онайбаевич Сарсенбаев⁷

^{1, 5, 6, 7} Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, Актюбе, Казахстан

^{2, 3} АО «НПП «Контакт», Саратов, Россия

⁴ Энгельсский технологический институт (филиал) Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Энгельс, Россия

¹ Amirbek2401@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7038-4631>

² 79053818212@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5581-0970>

³ s.kalганова2016@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2155-3192>

⁴ Mostovoy19@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2828-9988>

⁵ Lyazzatt@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9236-5909>

⁶ Majiko.a@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6485-8063>

⁷ Berikbajs@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1446-2690>

Аннотация. Модификация дисперсных наполнителей (базальт и хромит) осуществлялась в индукционной установке при мощности 2 кВт и времени обработки 60 сек, что обеспечивает кратковременное высокотемпературное воздействие токов высокой частоты на наполнители и, как следствие, способствует улучшению характеристик наполненных эпоксидных композитов на их основе. Установлено изменение химического состава наполнителей, что связано с удалением несвязанной влаги, оксидной пленки с поверхности частиц базальта и хромита и оксидов тех веществ, температура разложения которых ниже температуры модификации. По данным электронной микроскопии выявлено, что частицы базальта после воздействия на них токов высокой частоты в значительной степени приобретают игольчатую форму, что положительно влияет на физико-механические характеристики, т.к. такой наполнитель обладает эффектом микроармирования. Частицы хромита в результате обработки токами высокой частоты практически не изменяют своей структуры. Изучение диэлектрических характеристик минеральных наполнителей до и после обработки токами высокой частоты показало, что для базальта и хромита в значительной степени повышается диэлектрическая проницаемость, свидетельствующая об изменении их структуры, что приводит к повышению прочностных характеристик от 7 до 17 %.

Ключевые слова: эпоксидный олигомер, базальт, хромит, индукционная установка, обработка токами высокой частоты, физико-механические свойства.

Благодарности: Исследование профинансировано Комитетом по науке Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № BR18574094).

Для цитирования: Изучение свойств эпоксидного композиционного материала, наполненного модифицированными минеральными наполнителями / А. З. Бекешев [и др.] // Ползуновский вестник. 2023. № 4, С. 208–213. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.026. EDN: <https://elibrary.ru/LCLSNC>.

Original article

STUDY OF THE PROPERTIES OF AN EPOXY COMPOSITE MATERIAL FILLED WITH MODIFIED MINERAL FILLERS

Amirbek Z. Bekeshev¹, Yulia A. Kadykova², Svetlana G. Kalganova³,
Anton S. Mostovoy⁴, Lyazzat K. Tastanova⁵, Marzhan K. Akhmetova⁶,
Berikbay O. Sarsenbayev⁷

^{1, 5, 6, 7} Aktobe Regional University named after K. Zhubanov, Aktobe, Kazakhstan

^{2, 3} JSC "SPE "Kontakt", 1, Saratov, Russia

⁴ Engels Institute of Technology (branch) Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin, Engels, Russia

¹ Amirbek2401@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7038-4631>

² 79053818212@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5581-0970>

³ s.kalganova2016@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2155-3192>

⁴ Mostovoy19@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2828-9988>

⁵ Lyazzatt@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9236-5909>

⁶ Majiko.a@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6485-8063>

⁷ Berikbajs@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1446-2690>

Abstract. *In order to improve the properties of filled epoxy composites, in this work, the filler was processed in an induction unit at a power of 2 kW and a processing time of 60 seconds, which ensures short-term high-temperature exposure of high-frequency currents to fillers. A change in the chemical composition of fillers has been established, which is associated with the removal of unbound moisture, an oxide film from the surface of basalt and chromite particles and oxides of those substances whose decomposition temperature is lower than the modification temperature. By the method of electron microscopy, it was found that after processing in an induction installation, basalt particles largely acquire a needle shape, which has a positive effect on the physical and mechanical properties, since such a filler has a micro-reinforcement effect. For chromite particles, as a result of treatment in an induction plant, the structure changes to an insignificant extent with a partial manifestation of the needle structure. The study of the dielectric characteristics of basalt and chromite before and after treatment in an induction unit showed that the permittivity of mineral fillers significantly increases, which indicates a change in the structure of the material. The change in the chemical composition and structure of basalt and chromite after their modification by high-frequency currents leads to an increase in strength characteristics from 7 to 17%.*

Keywords: epoxy oligomer, basalt, chromite, induction plant, high frequency current treatment, physical and mechanical properties.

Acknowledgements: *This research has been funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (grant no. BR18574094).*

For citation: Bekeshev, A. Z., Kadykova, Yu. A., Kalganova, S. G., Mostovoy, A. S., Tastanova, L. K., Akhmetova, M. K. & Sarsenbayev, B. O. (2023). Study of the properties of an epoxy composite material filled with modified mineral fillers. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 208-213. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.026. EDN: <https://elibrary.ru/LCLSNC>.

ВВЕДЕНИЕ

Для получения полимерных композиционных материалов (ПКМ) широко применяются дисперсные минеральные наполнители, влияющие на физико-химические и механические свойства полимерных материалов [1–4]. В настоящее время перспективным направлением для создания полимерных материалов, отвечающих требованиям инновационной экономики, является модификация не только связующего, но и наполнителя различными физическими или химическими методами [5, 6].

К числу эффективных методов для модификации минеральных наполнителей относятся электротермические методы воздействия, в том числе высокочастотный (ВЧ) нагрев с целью удаления влаги, а также изменения структуры и свойств дисперсных наполнителей. Однако в настоящее время данный метод модификации не получил широкого распространения из-за многофакторности процессов электротермии, недостаточной изученности технологических режимов ВЧ обработки материалов, значительно отличающихся по электрофизическим параметрам.

рам и влажности, а также отсутствия прямых методов контроля физических параметров наполнителей в процессе их обработки и, как следствие, недостаточный уровень разработки теории процесса термической обработки материалов в ВЧ поле.

В связи с этим целью работы является исследование влияния высокочастотной модификации дисперсных минеральных наполнителей на их структуру и свойства.

МЕТОДЫ

Рентгенофлуоресцентный анализ

Рентгенофлуоресцентный анализ был использован для исследования локального рентгенофлуоресцентного элементного микроанализа с возможностью элементного картирования. Принцип качественного элементного анализа образца основан на характеристическом вторичном рентгеновском излучении – рентгеновской флуоресценции, возбуждаемой первичным рентгеновским излучением и регистрируемой с помощью специальных датчиков.

Количественный анализ проводят, сравнивая интенсивность излучения исследуемых элементов в образце и в эталонах с известным содержанием этих элементов.

Рентгенофлуоресцентный анализ наполнителей осуществлялся на рентгеновском аналитическом микронзонде-микроскопе РАМ 30-μ.

Измерения диэлектрических параметров

Измерения диэлектрической проницаемости (ϵ) и тангенса диэлектрических потерь ($\text{tg}\delta$) производились на лабораторной установке с помощью метода волноводного моста [7].

Метод сканирующей электронной микроскопии

Настольный сканирующий электронный микроскоп «Aspex EXloger» предназначен для исследования металлических и диэлектрических образцов методом детектирования обратного рассеянных электронов и вторичных электронов, а также характеристического рентгеновского излучения. При проведении исследований изучали поверхность, скол и шлиф образцов эпоксидного наполненного полимера.

В работе применялись следующие методы исследования механических 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 ударной вязкости [ГОСТ 4647-80];

- определение твердости по Бринеллю [ГОСТ 4670-91].

РЕЗУЛЬТАТЫ

В качестве полимерной матрицы использован ранее разработанный состав, состоящий из 100 масс.ч. эпоксидной смолы марки ЭД-20, 40 масс.ч. – олиго (резорцинфенилфосфат) с концевыми фенильными группами Furoiflex (ОРФФ) и 15 масс.ч. отвердителя – полиэтиленполиамины (ПЭПА) [8]. В эпоксидную композицию наполнители (базальт и хромит) вводились в количестве 30 масс.ч. базальта [9] и 75 масс.ч. хромита [10].

Для повышения их равномерности распределения в эпоксидной смоле применялась ультразвуковая обработка состава. Параметры ультразвукового воздействия: частота УЗ – 22 ± 2 кГц, продолжительность – 60 мин.

Модификация дисперсных минеральных наполнителей проводилась в индукционной установке УПИ-60-2 при мощности 2 кВт и продолжительности 60 сек.

При нагреве в индукционной установке УПИ 60-2 в течение 60 сек температура наполнителей составляет для базальта 645 °С, для хромита – 721 °С, т.е. происходит кратковременное высокотемпературное воздействие на наполнители токов высокой частоты, в результате которого химический состав базальта (табл. 1) и хромита (табл. 2) изменяется. Для базальтового наполнителя увеличивается содержание оксидов Fe и Al, а для хромита – оксидов Cr и Al, что обусловлено удалением влаги и оксидной пленки с поверхности частиц наполнителя, а также разложением оксидов тех веществ, температура разложения которых ниже температуры модификации.

Таблица 1 – Химический состав базальта

Table 1 – Chemical composition of basalt

Компонент	Концентрация, %	
	до обработки	после обработки
1	2	3
Si	48,37	32,09
Fe	11,6	25,22
Al	11,20	20,10
Mg	15,30	16,57
Ca	8,94	1,90
Cr	1,75	2,12
Na	1,55	–
Ti	0,57	1,20

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ЭПОКСИДНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА, НАПОЛНЕННОГО МОДИФИЦИРОВАННЫМИ МИНЕРАЛЬНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ

Продолжение таблицы 1 / Tabl 1 cont.

1	2	3
K	0,33	–
Mn	0,19	0,45
Ni	0,15	0,26
S	0,05	0,09

Таблица 2 – Химический состав хромита
Table 2 – Chemical composition of chromite

Компонент	Концентрация, %	
	до обработки	после обработки
Cr	43,34	64,43
Ca	21,42	0,39
Fe	17,73	18,07
Si	13,06	6,28
Al	3,03	9,46
Ni	0,82	0,68
Cu	0,34	0,48
Ti	0,15	0,15
S	0,08	0,04
P	0,03	0,02

После обработки токами высокой частоты частицы базальта приобретают игольчатую форму (рис. 1) и такой наполнитель обладает эффектом микроармирования, что приводит к повышению свойств.

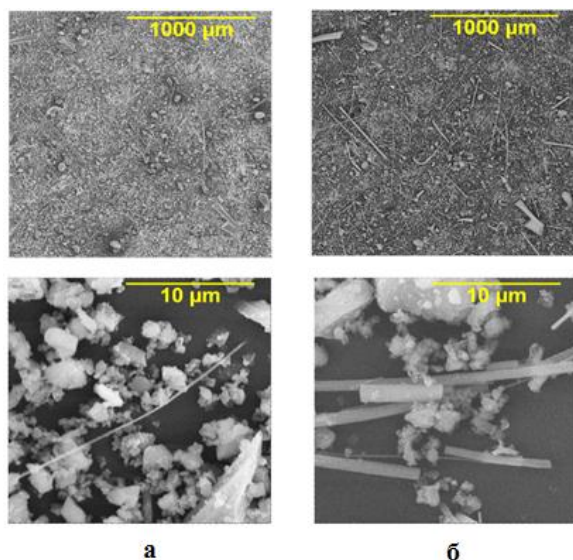


Рисунок 1 – СЭМ базальтовой породы до (а) и после (б) обработки токами высокой частоты

Figure 1 – SEM of basalt rock before (a) and after (b) treatment with high frequency currents

Таблица 3 – Диэлектрические параметры базальта и хромита
Table 3 – Dielectric parameters of basalt and chromite

Диэлектрические параметры	Базальт		Хромит	
	до обработки ТВЧ	после обработки ТВЧ	до обработки ТВЧ	после обработки ТВЧ
Тангенс угла диэлектрических потерь, $\text{tg}\delta$	0,047	0,01	0,243	0,15
Диэлектрическая проницаемость, ϵ	7,504	14,682	3,426	7,02

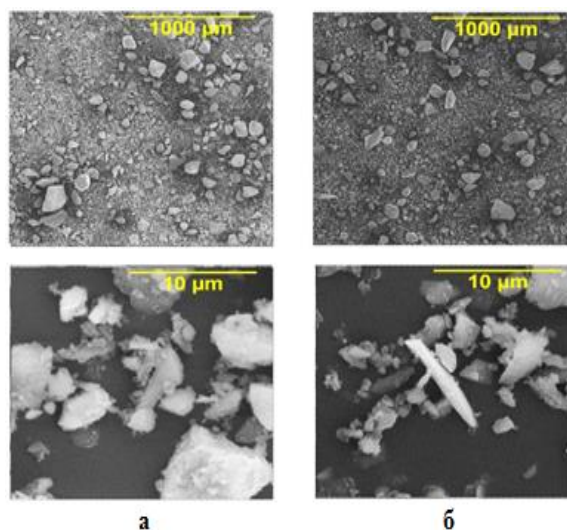


Рисунок 2 – СЭМ хромитовой породы до (а) и после (б) обработки токами высокой частоты

Figure 2 – SEM of chromite rock before (a) and after (b) treatment with high frequency currents

Для частиц хромита (рис. 2) в результате индукционной обработки изменение структуры происходит в незначительной степени с частичным проявлением частиц игольчатой структуры.

Как известно, диэлектрическая проницаемость ϵ является мерой поляризации, поэтому даже незначительное изменение ϵ является косвенным доказательством изменения структуры материала [11, 12]. Для минеральных наполнителей более чем в два раза увеличивается диэлектрическая проницаемость, свидетельствующая об изменении структуры базальта и хромита до и после обработки в индукционной установке (табл. 3).

Изучение физико-механических характеристик наполненных эпоксидных компаундов показало (табл.4, 5), что происходит улучшение всего комплекса свойств (от 7 до 17 %) композитов по сравнению эпоксидным полимером, наполненным не модифицированными наполнителями, что обусловлено изменением структуры и химического состава базальта и хромита, обработанных в индукционной установке токами высокой частоты.

Таблица 4 – Свойства эпоксидных композитов, наполненных базальтом

Table 4 – Properties of epoxy composites filled with basalt

Состав композиции, масс.ч., отвержденной 15 масс.ч. ПЭПА	$G_{из}$, МПа	$E_{из}$, МПа	G_p , МПа	E_p , МПа	$a_{уд}$, кДж/м ²	H_b , МПа
100ЭД-20+40ФФ	80	3210	30	1896	6,0	175
до обработки базальтовой породы токами высокой частоты						
100ЭД-20+40ФФ+30 базальт	88	10023	52	2703	7,0	395
после обработки базальтовой породы токами высокой частоты						
100ЭД-20+40ФФ+30 базальт	96	9624	61	3145	8,0	447

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

Таблица 5 – Свойства эпоксидных композитов, наполненных хромитом

Table 5 – Properties of epoxy composites filled with chromite

Состав композиции, масс.ч., отвержденной 15 масс.ч. ПЭПА	$G_{из}$, МПа	$E_{из}$, МПа	G_p , МПа	E_p , МПа	$a_{уд}$, кДж/м ²	H_b , МПа
100ЭД-20+40ФФ	80	3210	30	1896	6,0	175
до обработки хромитовой породы токами высокой частоты						
100ЭД-20+40ФФ+75 хромит	95	9553	45	2543	6,0	310
после обработки хромитовой породы токами высокой частоты						
100ЭД-20+40ФФ+75 хромит	102	8412	52	3004	7,0	343

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

ВЫВОДЫ

По данным рентгенофлуоресцентного анализа, в исследуемых наполнителях изменяется количество оксидов: в базальте увеличивается количество оксидов железа и алюминия, а в хромите – оксидов хрома и алюминия.

При модификации токами высокой частоты у базальта наблюдается наличие частиц игольчатой формы, в то время как частицы хромита практически не изменяются. Диэлектрические показатели минеральных наполнителей до и после модификации увеличиваются, что свидетельствует об изменении структуры частиц базальта и хромита.

Анализ физико-механических характеристик показал, что для базальтонаполненного эпоксидного компаунда все свойства повышаются от 9 до 17 %, а для наполненного хромитом – от 7 до 16 %.

Таким образом, модификация дисперсных минеральных наполнителей в индукционной установке УПИ-60-2 при мощности 2 кВт и продолжительности 60 сек позволяет изменить структуру и химический состав базальта и хромита, что, в свою очередь, приводит к повышению физико-механических характеристик наполненных эпоксидных компаундов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bogiatzidis C., Zoumpoulakis L. Thermoset Polymer Matrix Composites of Epoxy, Unsaturated Polyester and Novolac Resin Embedding Construction and Demolition Wastes

powder: A Comparative Study // *Polymers*. 2021. № 13 (5), С.737. doi :10.3390/polym13050737.

2. Мостовой А.С., Нуртазина А.С., Кадыкова Ю.А. Эпоксидные композиты с повышенными эксплуатационными характеристиками, наполненные дисперсными минеральными наполнителями // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2018. № 80(3). С. 330–335. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-3-330-335>.

3. Mostovoi A.S., Plakunova E.V., Panova L.G. New Epoxy Composites Based on Potassium Polytitanates // *International Polymer Science and Technology*. 2013. № 40. С. 49–51. doi: 10.1177/0307174X1304000711.

4. Dynamics of destruction of epoxy composites filled with ultra-dispersed diamond under impact conditions / Buketov A.V. [et al.] // *Mechanics of Advanced Materials and Structures*. 2020. № 27. P. 725–733. doi: 10.1080/15376494.2018.1495788.

5. Комплексно-модифицированные базальтопластики / Кадыкова Ю.А. [и др.] // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2018. № 80(2). С. 297–301. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-2-297-301>.

6. Васинкина Е.Ю., Калганова С.Г., Кадыкова, Ю.А. Выбор параметров СВЧ обработки базальтонаполненного эпоксидного олигомера // *Ползуновский вестник*. 2022. № 2. С. 102–107. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2022.02.014>.

7. Исследование диэлектрических свойств композиционных материалов / Сивак А.С. [и др.] // *Вопросы электротехнологии*. 2021. № 4(33). С. 23–28.

8. Highly Efficient Plasticizers- Antipirenes for Epoxy Polymers / Mostovoi A.S. [et al.] // *Inorganic Materials: Applied Research*. 2019. № 10. P. 1135–1139. <https://doi.org/10.1134/S2075113319050228>.

9. Бредихин П.А. Разработка составов и технологии комплексно-модифицированных композитов на ос-

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ЭПОКСИДНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА, НАПОЛНЕННОГО МОДИФИЦИРОВАННЫМИ МИНЕРАЛЬНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ

нове полиолефинов и базальтовых наполнителей : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Саратов, 2020. 16 с.

10. Effect of Finely Dispersed Chromite on the Physicochemical and Mechanical Properties of Modified Epoxy Composites / Mostovoi A.S. [et al.] // Russian Journal of Applied Chemistry. 2018. № 91. P. 1758–1766. <https://doi.org/10.1134/S1070427218110046>.

11. Васинкина Е.Ю. СВЧ модификация эпоксидного базальтонаполненного олигомера для улучшения функциональных свойств композита на его основе: дис. ... канд. техн. наук. Саратов. 2023. 154 с.

12. Славинский, А.С. Физика диэлектриков : монография. Москва: Научтехлитиздат, 2007. 21 с.

Информация об авторах

А. З. Бекешев – кандидат физико-математических наук, ассоциированный профессор кафедры «Физика» Актыбинского регионального университета имени К. Жубанова.

Ю. А. Кадькова – доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник АО «НПП «Контакт».

С. Г. Калганова – доктор технических наук, доцент, начальник исследовательской лаборатории АО «НПП «Контакт».

А. С. Mostovoy – кандидат технических наук, доцент кафедры «Естественные и математические науки» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Л. К. Тастанова – кандидат химических наук, доцент кафедры «Химия и химическая технология» Актыбинского регионального университета имени К. Жубанова.

М. К. Ахметова – преподаватель кафедры «Физика» Актыбинского регионального университета имени К. Жубанова.

Б. О. Сарсенбаев – преподаватель кафедры «Физика» Актыбинского регионального университета имени К. Жубанова.

REFERENCES

1. Bogiatzidis, C. & Zoumpoulakis, L. (2021). Thermoset Polymer Matrix Composites of Epoxy, Unsaturated Polyester, and Novolac Resin Embedding Construction and Demolition Wastes powder: A Comparative Study. *Polymers*. № 13 (5), С. 737. doi: 10.3390/polym13050737.

2. Mostovoy, A.S., Nurtazina, A.S. & Kadykova, Yu.A. (2018). Epoxy composites with enhanced performance characteristics filled with dispersed mineral fillers. *Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. No. 80(3). P. 330-335. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-3-330-335>.

3. Mostovoi, A.S., Plakunova, E.V. & Panova, L.G. (2013). New Epoxy Composites Based on Potassium Polytitanates. *International Polymer Science and Technology*. № 40. С. 49-51. doi: 10.1177/0307174X1304000711.

4. Buketov, A.V., Saproinov, O.O., Brailo, M.V., Maruschak, P.O., Yakushchenko, S.V., Panin, S.V. & Nigalaty, V.D. (2020). Dynamics of destruction of epoxy composites filled with

ultra-dispersed diamond under impact conditions. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*. 2020. № 27. P. 725-733. doi: 10.1080/15376494.2018.1495788.

5. Kadykova, Yu.A., Bredikhin, P.A., Arzamashev, S.V. & Kalganova, S.G. (2018). Complex-modified basalt plastics. *Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. No. 80(2). P. 297-301. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-2-297-301>.

6. Vasinkina, E.Yu., Kalganova, S.G. & Kadykova, Yu.A. (2022). The choice of parameters of microwave processing of basalt-filled epoxy oligomer. *Polzunovsky vestnik*. No. 2. P. 102-107. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2022.02.014>.

7. Sivak, A.S., Kalganova, S.G., Kadykova, Yu.A. & Chermashentseva, T.P. (2021). Investigation of dielectric properties of composite materials. *Questions of electrotechnology*. No. 4(33). P. 23-28.

8. Mostovoy, A.S., Nurtazina, A.S., Kadykova, Yu.A. & Bekeshev, A.Z. (2019). Highly Efficient Plasticizers-Antipirenes for Epoxy Polymers. *Inorganic Materials: Applied Research*. № 10. P. 1135-1139. <https://doi.org/10.1134/S2075113319050228>.

9. Bredikhin, P.A. (2020). Development of compositions and technologies of complex-modified composites based on polyolefins and basalt fillers. *Saratov*. (In Russ.).

10. Mostovoy, A.S., Nurtazina, A.S., Burmistrov, I.N. & Kadykova, Yu.A. (2018). Effect of Finely Dispersed Chromite on the Physicochemical and Mechanical Properties of Modified Epoxy Composites. *Russian Journal of Applied Chemistry*. № 91. p. 1758-1766. <https://doi.org/10.1134/S1070427218110046>.

11. Vasenina, E.Yu. (2022). Microwave modification of epoxy basalt-filled oligomer to improve the functional properties of a composite based on it: dis. ... candidate of Technical Sciences. *Saratov*. (In Russ.).

12. Slavinsky, A.S. (2007). *Physics of dielectrics: monograph*. Moscow: Nauchtekhizdat. (In Russ.).

Information about the authors

A. Z. Bekeshev - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Physics of Aktobe Regional University named after K. Zhubanov.

Yu. A. Kadykova - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Chief Researcher of JSC "NPP "Contact".

S. G. Kalganova - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, head of the research laboratory of JSC "NPP "Contact".

A. S. Mostovoy - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Natural and Mathematical Sciences of the Engels Institute of Technology (branch) Saratov State Technical University named after Gagarin Yu.A.

L. K. Tastanov - Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemistry and Chemical Technology of Aktobe Regional University named after K. Zhubanov.

M. K. Akhmetov - lecturer of the Department of Physics of Aktobe Regional University named after K. Zhubanov.

B. O. Sarsenbayev - lecturer of Ph.D. "Physics" of Aktobe Regional University named after K. Zhubanov.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 26 марта 2023; одобрена после рецензирования 18 сентября 2023; принята к публикации 20 ноября 2023.

The article was received by the editorial board on 26 Mar 2023; approved after editing on 18 Sep 2023; accepted for publication on 20 Nov 2023.