

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СВЧ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЭПОКСИБАЗАЛЬТОПЛАСТИКОВ

Е.Ю. Васинкина, С.Г. Калганова, Ю.А. Кадыкова, Н.Л. Левкина

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Политехническая, 77, Саратов, Российская Федерация, 410054

E-mail: vasinkina1987@mail.ru, s.kalganowa2016@yandex.ru, 79053818212@yandex.ru, levkinan78@yandex.ru

Для повышения физико-химических и механических характеристик эпоксидбазальтопластиков проводят их модификацию, в том числе и различными электрофизическими методами, среди которых перспективна обработка полимерных материалов в СВЧ электромагнитном поле. При установленных режимах процесса обработки композиционного материала (СВЧ мощность – 400 Вт; продолжительности обработки – 24 с) доказана эффективность и целесообразность использования СВЧ электромагнитного поля для модификации базальтонаполненного эпоксидного олигомера. Так, в результате СВЧ обработки ударная вязкость возрастает в 2,5 раза, твердость по Бринеллю – на 78%, разрушающее напряжение при изгибе увеличивается более чем в два раза. Для эпоксидбазальтопластиков, обработанных при выбранном режиме СВЧ электромагнитного поля, показатели кислородного индекса и потери массы при поджигании на воздухе практически не изменяются, при незначительном увеличении теплостойкости (на 4,5%).

При изучении термостабильности разработанных композиционных материалов отмечено увеличение коксовых остатков и смещение стадии деструкции в область более высоких температур для базальтонаполненного эпоксидного полимера обработанного в СВЧ электромагнитном поле.

В выбранных режимах модификации получены эпоксидбазальтопластики, которые имеют низкие значения водопоглощения и высокую хемостойкость, что свидетельствует о формировании более плотной, менее дефектной структуры. Результаты ИК-спектроскопии доказывают факт модифицирующего влияния СВЧ обработки на взаимодействие базальтового наполнителя с эпоксидным полимером.

Таким образом, различными современными и взаимодополняющими методами доказано влияние СВЧ электромагнитного поля на структуру базальтонаполненного эпоксидного олигомера, что обеспечивает повышение физико-химических и механических характеристик полимерного композиционного материала.

Ключевые слова: эпоксидный олигомер, базальтовый наполнитель, модификация, СВЧ электромагнитное поле, физико-химические и механические свойства

INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF MICROWAVE MODIFIED EPOXYBASALTOPLASTICS

E.Y. Vasinkina, S.G. Kalganova, Yu.A. Kadykova, N.L. Levkina

Saratov State Technical University named after Gagarin Yu.A., 77 Politechnicheskaya str., Saratov, Russian Federation, 410054

E-mail: vasinkina1987@mail.ru, s.kalganowa2016@yandex.ru, 79053818212@yandex.ru, levkinan78@yandex.ru

To improve the physico-chemical and mechanical characteristics of epoxybasaltoplastics, their modification is carried out, including various electrophysical methods, among which the processing of polymer materials in a microwave electromagnetic field is promising. Under the established modes of the composite material processing (microwave power – 400 W; processing duration – 24 s), the effectiveness and expediency of using a microwave electromagnetic field for modification of a basalt-filled epoxy oligomer has been proven. Thus, as a result of microwave processing,

the impact strength increases by 2.5 times, the Brinell hardness – by 78%, the destructive bending stress increases more than twice. For epoxybasaltoplastics treated with the selected microwave electromagnetic field mode, the oxygen index and mass loss during ignition in air practically do not change, with a slight increase in heat resistance (by 4.5%).

When studying the thermal stability of the developed composite materials, an increase in coke residues and a shift of the destruction stage to higher temperatures for a basalt-filled epoxy polymer treated in a microwave electromagnetic field were noted.

In the selected modification modes, epoxybasaltoplastics were obtained, which have low water absorption values and high chemical resistance, which indicates the formation of a denser, less defective structure. The results of IR spectroscopy prove the fact of the modifying effect of microwave processing on the interaction of basalt filler with epoxy polymer.

Thus, various modern and complementary methods have proved the effect of the microwave electromagnetic field on the structure of the basalt-filled epoxy oligomer, which provides an increase in the physicochemical and mechanical characteristics of the polymer composite material.

Key words: epoxy oligomer, basalt filler, modification, microwave electromagnetic field, physicochemical and mechanical properties

Для цитирования:

Васинкина Е.Ю., Калганова С.Г., Кадыкова Ю.А., Левкина Н.Л. Исследование свойств СВЧ модифицированных эпоксидных базальтопластиков. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2023. Т. LXVII. № 1. С. 43–48. DOI: 10.6060/RCJ.2023671.6.

For citation:

Vasinkina E.Y., Kalganova S.G., Kadykova Yu.A., Levkina N.L. Investigation of the properties of microwave modified epoxybasaltoplastics. *Ros. Khim. Zh.* 2023. V. 67. N 1. P. 43–48. DOI: 10.6060/RCJ.2023671.6.

ВВЕДЕНИЕ

Эпоксидные материалы перспективны для использования в качестве пропиточных и заливочных компаундов, клеев, удовлетворяющих соответствующим требованиям таких отраслей промышленности как строительная, приборостроительная, автомобилестроение, электротехническая и др. [1–5].

Вместе с тем многими отраслями промышленности предъявляется повышенный уровень требований к полимерным материалам по физико-химическим и механическим характеристикам, поэтому разработка методов направленного регулирования свойств эпоксидных материалов путем электрофизической модификации приобретает особую значимость и актуальность. [6–17].

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Метод определения разрушающего напряжения при изгибе - ГОСТ 4648-71.

Метод определения ударной вязкости - ГОСТ 4647-80.

Метод определения твердости по Бринеллю - ГОСТ 4670-91.

Метод определения водопоглощения - ГОСТ 4650-80.

Метод определения кислородного индекса - ГОСТ 21793-76.

Определение теплостойкости по Вика - ГОСТ 15088-83.

Определение потерь массы при горении на воздухе - ГОСТ 21793-76.

Методы определения стойкости к действию химических сред - ГОСТ 12020-72 [18, 19].

Метод инфракрасной спектроскопии (ИКС) [20–23].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для повышения физико-химических и механических характеристик эпоксидных базальтопластиков проводят их модификацию, в то числе и различными электрофизическими методами. Доказано, что оптимальными режимами СВЧ модификации базальтонаполненного эпоксидного олигомера являются СВЧ мощность – 400 Вт и продолжительности обработки – 24 с. Так, ударная вязкость возрастает в 2,5 раза, твердость по Бринеллю – на 78%, разрушающее напряжение при изгибе увеличивается более чем в два раза (табл.1).

Для эпоксидных базальтопластиков, обработанных при выбранном режиме СВЧ электромагнитного поля (ЭМП) показатели кислородного индекса и потери массы при поджигании на воздухе практически не изменяются (табл. 2), при незначительном увеличении теплостойкости (на 4,5%).

Таблица 1
Влияние воздействия СВЧ электромагнитного поля на физико-механические свойства эпоксизалятопластика состава, масс.ч.: 70ЭД-20+30ТХЭФ+50базальт+15ПЭПА

Параметры СВЧ воздействия	Ударная вязкость, кДж/м ²	Разрушающее напряжение при изгибе, МПа	Твердость по Бриггеллю, МПа
Без обработки	13	80	250
СВЧ мощность – 400 Вт и продолжительности обработки – 24 с	33	168	314

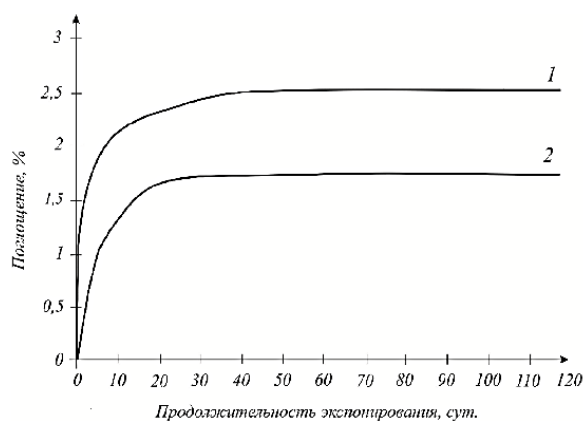
Таблица 2
Зависимость физико-химические свойства эпоксидной композиции состава, масс.ч.: 70ЭД-20+30ТХЭФ+50базальт+15ПЭПА от мощности СВЧ электромагнитного поля

Мощность СВЧ обработки, Вт	Теплостойкость по Вика, °С	Кислородный индекс, % объем.	Потери массы при поджигании на воздухе, %
-	172	37	0,7
400	180	38	0,6

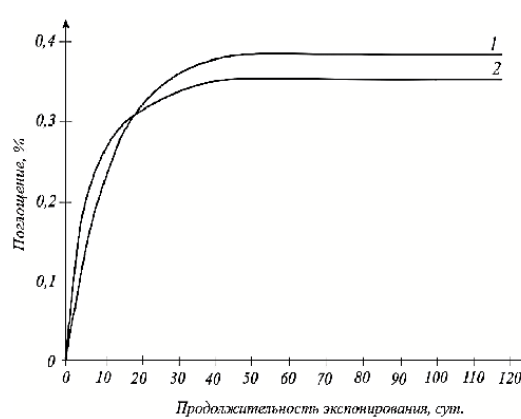
Примечание: к трудногораемым материалам относятся (ГОСТ 12.1.244-89) материалы с КИ > 27% объем. и потерями массы < 20%

Таблица 3
Влияние СВЧ обработки на термостойкость эпоксизалятопластиков

Мощность СВЧ обработки, Вт	Параметры стадий деструкции		Потери массы, % при температуре, °С					
	$\frac{T_{II}-T_K}{T_{max}}$, °С	$\frac{m_{II}-m_K}{m_{max}}$, %	200	300	400	500	600	700
-	<u>210-288</u> 254 <u>338-644</u> 511	<u>8-15</u> 13 <u>15-38</u> 29	7	16	21	29	38	38
400	<u>217-292</u> 266 <u>352-650</u> 526	<u>7-12</u> 10 <u>13-30</u> 22	7	12	17	24	29	33



а)



б)

Рис. 1. Исследование устойчивости разработанных композиций к 25% соляной кислоте (а) и к 40% водному раствору гидроксида натрия (б); 1 – без СВЧ обработки; 2 – СВЧ обработка при 400 Вт в течение 24 с

При изучении термостабильности эпоксизалятопластиков отмечено увеличение коксовых остатков и смещение стадии деструкции в область более высоких температур для композитов обработанных в СВЧ ЭМП (табл. 3).

В связи с тем, что разработанные составы предполагается использовать в том числе в каче-

стве наливных полов на промышленных предприятиях, для которых одним из важнейших показателей является устойчивость к различным агрессивным средам, в работе исследовалась устойчивость разработанных композиций к воде, 40% раствору гидроксида натрия, 25% соляной кислоте.

После модификации эпоксидного олигомера в выбранных режимах СВЧ обработки получили эпоксибазальтопластики, которые имеют низкие значения водопоглощения и высокую хемостойкость (табл. 5, рис. 1,2), что свидетельствует о формировании более плотной, менее дефектной структуры.

Это подтверждается и данными электронной микроскопии (рис. 2,3), наблюдается более равномерная структура после воздействия агрессивных сред на СВЧ обработанные эпоксибазальтопластики.

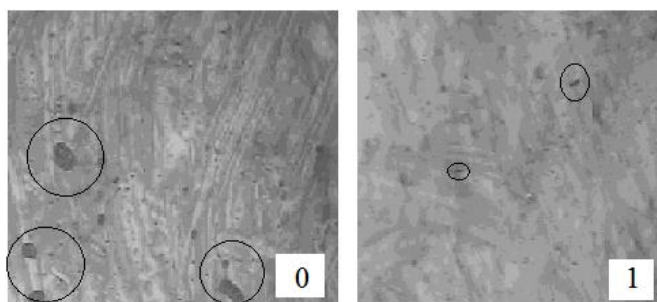


Рис. 2. Испытания на щелочестойкость: 0 – без СВЧ обработки; 1 – СВЧ обработка при 400 Вт в течение 24 с

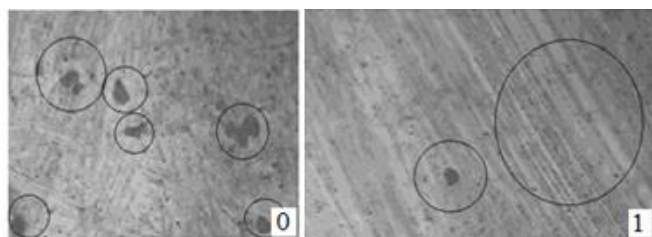


Рис. 3. Испытания на кислотостойкость: 0 – без СВЧ обработки; 1 – СВЧ обработка при 400 Вт в течение 24 с

Определение изменений свойств эпоксибазальтопластиков после испытаний их по ГОСТ 12020-72, показало, что все физико-механические характеристики после выдерживания в агрессивной среде снижаются менее чем на 14% (табл. 4), что доказывает хорошую устойчивость всех разработанных составов к исследуемым агрессивным средам.

Анализ результатов ИК-спектроскопии (см. рис. 4) показал наличие в композите ОН-групп (3446 см^{-1}), CH_2 (2967 см^{-1}), CH_3 ($2928\text{-}2873\text{ см}^{-1}$), подтвержденных пиками их деформационных колебаний. Определены эпоксидные (1246 см^{-1} валентные и 814 см^{-1} деформационные) группы, замещенный ароматический углеводород (1034 см^{-1}), что точно соответствует строению олигомера.

В отвержденной смоле повышается интенсивность деформационных колебаний ОН групп (1030 см^{-1}), эпоксидных групп (1246 см^{-1} и 814 см^{-1}) и -C=C- группы ароматического кольца (1500 см^{-1}) из-за влияния СВЧ-обработки для всех образцов по сравнению с исходным образцом ПКМ, особенно это проявляется в образцах, обработанных при мощности 400 Вт, что соответствует 11,5 Вт удельной поглощенной мощности и 500 Вт, что соответствует 12,8 Вт удельной поглощенной мощности.

Результаты ИК-спектроскопии доказывают факт модифицирующего влияния СВЧ ЭМП на эпоксибазальтопластик.

Таблица 4

Исследование влияния различных агрессивных сред на физико-механические характеристики эпоксидных композиций

Агрессивная среда	Ударная вязкость, кДж/м ²	Разрушающее напряжение при изгибе, МПа	Твердость по Бринеллю, МПа	Оценка стойкости по ГОСТ 12020-72
-	33	168	314	-
H ₂ O	32	166	312	Хорошая
HCl	29	148	278	Хорошая
NaOH	30	152	290	Хорошая

Примечание: состав эпоксибазальтопластика - 70ЭД-20+30ТХЭФ+50базальт+ 15ПЭПА; режим СВЧ обработки олигомера – мощность 400 Вт, продолжительность 24 с

ВЫВОДЫ

При установленных режимах процесса обработки композиционного материала (СВЧ мощность – 400 Вт; продолжительности обработки – 24 с) доказана эффективность и целесообразность использования СВЧ электромагнитного поля для модификации базальтонаполненного эпоксидного олигомера.

Различными современными и взаимодополняющими методами доказано влияние СВЧ ЭМП на структуру базальтонаполненного эпоксидного олигомера, что обеспечивает повышение физико-химических и механических характеристик композиционного материала.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.

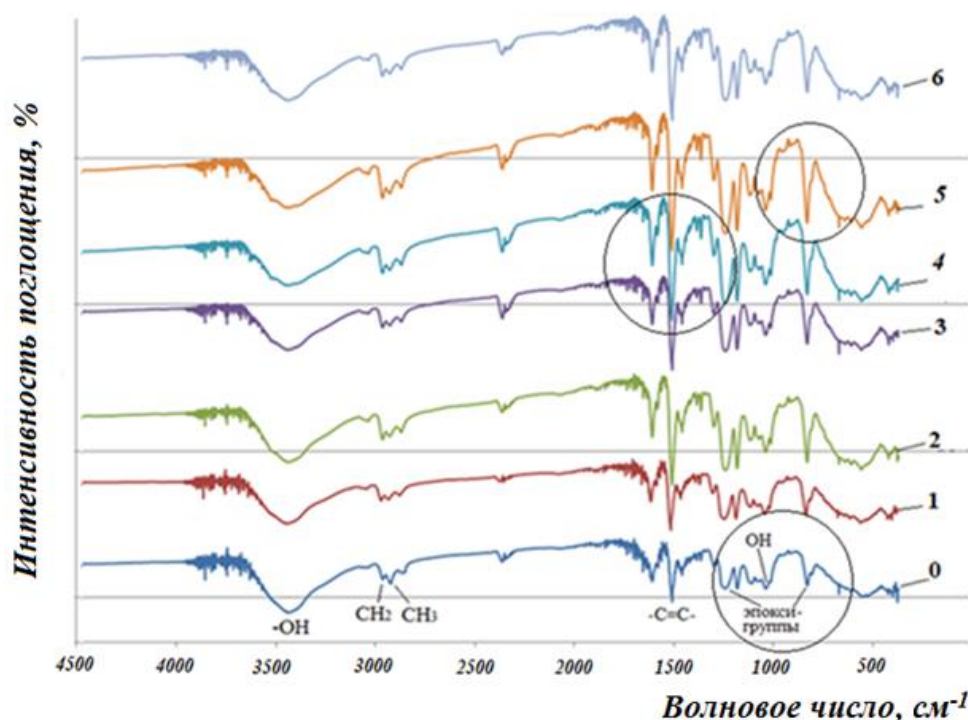


Рис. 4. Результаты ИК спектроскопии с образцов СВЧ обработанных в течение 21 сек эпоксизалятопластика: 0 – без СВЧ обработки; 1 – 100 Вт; 2 – 200 Вт; 3 – 300 Вт; 4 – 400 Вт; 5 – 500 Вт; 6 – 600 Вт

ЛИТЕРАТУРА

REFERENCES

1. Иржак В.И. Эпоксидные полимеры и нанокompозиты. Ч.: «Редакционно-издательский отдел ИПХФ РАН», 2021. 319 с.
2. Бекешев А.З., Мостовой А.С., Кадыкова Ю.А. Исследование влияния магнезита на физико-химические и механические свойства модифицированных эпоксидных композитов. Журнал прикладной химии. 2021. Т. 94. № 5. С. 666–673.
3. Нуртазина А.С., Кадыкова Ю.А., Бекешев А.З., Мостовой А.С. Высокоэффективные пластификаторы-антипирены для эпоксидных полимеров. Перспективные материалы. 2019. № 2. С. 36–43.
4. Мостовой А.С., Леденев А.Н., Панова Л.Г. Модификация эпоксидных матриц вискерами полтитаната калия. Перспективные материалы. 2017. № 4. С. 29–34.
5. Мостовой А.С., Панова Л.Г., Курбатова Е.А. Направленное регулирование структуры и свойств эпоксидных композитов. Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. 2016. № 3. С. 89–93.
6. Мостовой А.С., Кадыкова Ю.А., Снежок А.В., Богомолов Д.А. ИК-модификация эпоксидной композиции с целью повышения физико-механических свойств эпоксидных композитов. Сб. тр. IV Международной научной конференции молодых ученых. К.: Изд-во. 2020. С. 118–121.
7. Черемухина И.В. Классификация энергетических воздействий по влиянию на структуру и свойства армированных реактопластов. Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2021. Т. 83. № 2 (88). С. 197–201.
8. Мостовой А.С., Кадыкова Ю.А., Хазов К.Н., Титова А.Д., Соловьева Н.Д., Джумиева А.С. Электрохимическая модификация кремнистой породы, обеспечивающая повышение эксплуатационных характеристик наполненных эпоксидных композитов. Сб.тр. IV Международной
1. Irzhak V.I. Epoxy polymers and nanocomposites. Ch.: «Editorial and Publishing Department of IPHF RAS», 2021. 319 p.
2. Bekeshev A.Z., Mostovoy A.S., Kadykova Yu.A. Investigation of the effect of magnesite on the physico-chemical and mechanical properties of modified epoxy composites. Journal of Applied Chemistry. 2021. Vol. 94. N. 5. P. 666–673.
3. Nurtazina A.S., Kadykova Yu.A., Bekeshev A.Z., Mostovoy A.S. Highly effective flame retardant plasticizers for epoxy polymers. Promising materials. 2019. N. 2. P. 36–43.
4. Mostovoy A.S., Ledenev A.N., Panova L.G. Modification of epoxy matrices with potassium polytitanate whiskers. Promising materials. 2017. N. 4. P. 29–34.
5. Mostovoy A.S., Panova L.G., Kurbatova E.A. Directional regulation of the structure and properties of epoxy composites. Bulletin of the St. Petersburg State University of Technology and Design. 2016. No. 3. P. 89–93.
6. Mostovoy A.S., Kadykova Yu.A., Snezhok A.V., Bogomolov D.A. IR modification of an epoxy composition in order to improve the physico-mechanical properties of epoxy composites. Sat. tr. IV International Scientific Conference of Young Scientists. K.: Ed. 2020. P. 118–121.
7. Cheremukhina I.V. Classification of energy impacts by their effect on the structure and properties of reinforced reactoplasts. Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2021. V. 83. N. 2 (88). P. 197–201.
8. Mostovoy A.S., Kadykova Yu.A., Khazov K.N., Titova A.D., Solovieva N.D., Dzhumieva A.S. Electrochemical modification of siliceous rock, providing an increase in the performance characteristics of filled epoxy composites. Sat.tr. IV International Scientific Conference of Young Scientists. K.: Ed. 2020. P. 139–143.

- научной конференции молодых ученых. К.: Изд-во. 2020. С. 139–143.
9. Черемухина И.В., Студенцов В.Н. Оценка физико-химической активности различных способов физической модификации. *Фундаментальные исследования*. 2016. № 2 (2). С. 299.
 10. Мостовой А.С., Кадыкова Ю.А., Неверная О.Г., Прохорова И.Е. Направленное регулирование структуры и физико-механических характеристик эпоксидных композитов с применением электрофизического метода модификации композиции. *Вопросы электротехнологии*. 2020. № 2 (27). С. 48–53.
 11. Черемухина И.В., Студенцов В.Н., Ибаев М.О., Гильман А.А. Применение различных физических обработок в технологии наполненных реактопластов. *Вестник Саратовского государственного технического университета*. 2012. Т. 4. № 1 (68). С. 113–117.
 12. Кадыкова Ю.А., Мостовой А.С., Чапов И.Д. Исследование эффективности модификации охранных эпоксидных полимеров в свч электромагнитном поле. *Вопросы электротехнологии*. 2020. № 4 (29). С. 86–90.
 13. Толстов В.А., Мостовой А.С., Теслина Н.В., Кадыкова Ю.А. СВЧ-модификация наполненных эпоксидных композитов. *Тез. докл. X Международной научно-инновационной молодежной конференции*. Т.: Изд-во. 2018. С. 182–183.
 14. Мостовой А.С., Хазов К.Н., Титова А.Д., Кадыкова Ю.А. Модифицированные эпоксидные композиты, наполненные кремнистой породой. *Сб.тр. X Международной научно-инновационной молодежной конференции*. 2018. С. 99–100.
 15. Калганова С.Г., Сивяков Б.К., Сивяков Д.Б., Скрипкин А.А., Григорьян С.В. СВЧ технологические установки для нетепловой модификации свойств материалов в резонаторах со встречными бегущими волнами, образованных замкнутой самой на себя волноводной линией передачи. *Вестник Казанского государственного энергетического университета*. 2021. Т. 13. № 1 (49). С. 97–106.
 16. Сивак А.С., Калганова С.Г., Кадыкова Ю.А., Чермашентева Т.П. Исследование диэлектрических свойств композиционных материалов. *Вопросы электротехнологии*. 2021. № 4 (33). С. 23–28.
 17. Тригорный С.В., Калганова С.Г., Кадыкова Ю.А., Кожевников В.Ю., Сивак А.С., Юдина В.О. моделирование свч-нагрева диэлектриков с поглощающими СВЧ-энергию наполнителями в камерах с бегущей волной. *Вопросы электротехнологии*. 2020. № 4 (29). С. 15–23.
 18. Ивлев В. И., Фолмин Н. Е., Юдин В.А. и др. *Метод термogravиметрического анализа Ч. 1: Методы термического анализа*– Саранск: Изд-во Мордов. ун-та. 2017. 44 с.
 19. Лотов В.А., Хабас Т.А. *Дифференциально-термический анализ*. Томск: Изд. ТПУ/ 2012.30 с.
 20. Васильев А. В., Гриненко Е. В., Шукин А. О., Федулina Т. Г. *Инфракрасная спектроскопия органических и природных соединений*. СПб.: СПбГЛТА, 2007. 54 с.
 21. Егоров А.С. *Инфракрасная фурье-спектроскопия*. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012. 40 с.
 22. Васинкина Е.Ю., Кадыкова Ю.А., Сивак А.С., Калганова С.Г. Исследование эффективности воздействия СВЧ электромагнитного поля на процесс отверждения эпоксидных порошковых материалов. *Сб.тр. IV Международной научной конференции молодых ученых*. 2020. С. 143–148.
 23. Васинкина Е.Ю., Кадыкова Ю.А., Сивак А.С., Калганова С.Г. Полимерные материалы на основе эпоксидной матрицы наполненной дисперсным базальтом. *Сб.тр. VIII Всероссийской конференции, посвященной 60-летию ПАО «Химпром»*. 2020. С. 144–146.
 9. *Cheremukhina I.V., Studentsov V.N.* Evaluation of the physico-chemical activity of various methods of physical modification. *Fundamental research*. 2016. N. 2 (2). p. 299.
 10. *Mostovoy A.S., Kadykova Yu.A., Nevernaya O.G., Prokhorova I.E.* Directional regulation of the structure and physico-mechanical characteristics of epoxy composites using the electrophysical method of composition modification. *Questions of electrical technology*. 2020. N. 2 (27). P. 48–53.
 11. *Cheremukhina I.V., Studentsov V.N., Ibaev M.O., Gilman A.A.* Application of various physical treatments in the technology of filled reactoplasts. *Bulletin of the Saratov State Technical University*. 2012. V. 4. N. 1 (68). P. 113–117.
 12. *Kadykova Yu.A., Mostovoy A.S., Chapov I.D.* Investigation of the efficiency of modification of protected epoxy polymers in a microwave electromagnetic field. *Questions of electrical technology*. 2020. N. 4 (29). P. 86–90.
 13. *Tolstov V.A., Mostovoy A.S., Teslina N.V., Kadykova Yu.A.* Microwave modification of filled epoxy composites. *Tez. dokl. of the X International Scientific and Innovative Youth Conference*. T.: Ed. 2018. P. 182–183.
 14. *Mostovoy A.S., Khazov K.N., Titova A.D., Kadykova Yu.A.* Modified epoxy composites filled with siliceous rock. *Sat.tr. X International Scientific and Innovative Youth Conference*. 2018. P. 99–100.
 15. *Kalganova S.G., Sivyakov B.K., Sivyakov D.B., Skripkin A.A., Grigoryan S.V.* Microwave technological installations for non-thermal modification of material properties in resonators with oncoming traveling waves formed by a self-closed waveguide transmission line. *Bulletin of Kazan State Power Engineering University*. 2021. V. 13. N. 1 (49). P. 97–106.
 16. *Sivak A.S., Kalganova S.G., Kadykova Yu.A., Chermashentseva T.P.* Investigation of dielectric properties of composite materials. *Questions of electrotechnology*. 2021. N. 4 (33). P. 23–28.
 17. *Trigorly S.V., Kalganova S.G., Kadykova Yu.A., Kozhevnikov V.Yu., Sivak A.S., Yudina V.O.* Modeling of microwave heating of dielectrics with microwave energy absorbing fillers in traveling wave chambers. *Questions of electrical technology*. 2020. N. 4 (29). P. 15–23.
 18. *Ivlev V. I., Fomin N. E., Yudin V.A. et al.* *Method of thermogravimetric analysis Ch. 1: Methods of thermal analysis*– Saransk: Publishing House of Mordovia. un-ta, 2017 – 44 p.
 19. *Lotov V.A., Khabas T.A.* *Differential thermal analysis*. Tomsk: TPU Publishing House, 2012. 30 p.
 20. *Vasiliev A.V., Grinenko E. V., Shchukin A. O., Fedulina T. G.* *Infrared spectroscopy of organic and natural compounds*. St. Petersburg: SPbGLTA, 2007, 54 p.
 21. *Egorov A.S.* *Infrared Fourier spectroscopy*. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State University, 2012. 40 p.
 22. *Vasinkina E.Yu., Kadykova Yu.A., Sivak A.S., Kalganova S.G.* Investigation of the effectiveness of the effect of the microwave electromagnetic field on the curing process of epoxy powder materials. *Sat.tr. IV International Scientific Conference of Young Scientists*. 2020. P. 143–148.
 23. *Vasinkina E.Yu., Kadykova Yu.A., Sivak A.S., Kalganova S.G.* Polymer materials based on an epoxy matrix filled with dispersed basalt. *Sat.tr. VIII All-Russian Conference dedicated to the 60th anniversary of PJSC "Khimprom"*. 2020. P. 144–146.

Поступила в редакцию (Received) 07.11.2022

Принята к опубликованию (Accepted) 07.03.2023