

Испытание образцов на сжатие проводилось в соответствии с ГОСТ 4651–2014 в лаборатории «Электрические и электронные системы» учреждения образования «Белорусский государственный университет транспорта» на универсальной разрывной машине ТС244.31А. Обработку результатов исследования проводили в соответствии с ГОСТ 4651–2014.

Анализ проведенных исследований показал, что введение в качестве наполнителя диспергированного шунгита в количестве от 0,5 до 4 мас. % нецелесообразно, т. к. прочность композиции уменьшается. При введении диспергированного шунгита в количестве от 5 до 7 мас. %, прочность композиции увеличивается практически на 23 %. Введение наполнителя более 8 мас. % также является нецелесообразным, т. к. не влияет на прочность исходного материала.

После исследования влияния состава композиции на механические свойства разрушенные образцы с наполнителем из диспергированного шунгита в количестве от 5 до 7 мас. % были подвергнуты вторичной переработке для оценки изменения их свойств в процессе рециклинга.

Изучение изменения прочности при сжатии полученных образцов показало, что физико-механические характеристики разрабатываемого материала после повторной переработки ухудшились не более чем на 2 %.

Таким образом, изготовление изделий на основе модифицированного шунгитом полипропилена позволяет получить экологически безопасный материал с повышенной прочностью, не оказывающий негативного влияния на окружающую среду в процессе жизненного цикла изделия, а также повторного использования его в качестве вторичного сырья.

#### Список литературы

1 Отчет ГУ "Оператор вторичных материальных ресурсов" за 2022 год [Электронный ресурс] : офиц. сайт. – 2023. – Режим доступа : <https://vtooperator.by/content/otchet-gu-operator-vtorichnykh-materialnykh-resursov-za-2022-god>. – Дата доступа : 14.09.2023.

2 **Кудина, Е. Ф.** Методы утилизации и рециклинга полимерных композиционных материалов / Е. Ф. Кудина, К. В. Ефимчик // Полимерные материалы и технологии. – 2022. – Т. 8, № 4. – С. 77–86. – DOI: 10.32864/polymmattech-2022-8-4-77-86.

3 ГОСТ 4651–2014 (ISO 604:2002) Пластмассы. Метод испытания на сжатие. – Введ. 2015-03-01. – М. : Стандартинформ, 2014. – 16 с.

УДК 620.197:621

## ВЛИЯНИЕ ФУНКЦИОНАЛИЗИРУЮЩЕГО КОМПОНЕНТА НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА РЕАКТОПЛАСТОВ

*Е. Ф. КУДИНА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель;*

*Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси, г. Гомель*

*П. А. КУРИЦЫН, И. В. ПРИХОДЬКО, Г. Р. ГОНЧАРОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*А. К. ОНГАРБЕКОВ*

*ТОО «Казахстанский центр сертификации на железнодорожном транспорте», г. Астана*

Требования, предъявляемые к изделиям, работающим на железнодорожном транспорте в условиях постоянного воздействия внешних механических факторов (вибрация, удары и др.), влекут за собой необходимость разработки и внедрения современных композиционных материалов, способных обеспечить высокие механические и эксплуатационные показатели. Одним из перспективных направлений решения отмеченной задачи является применение функциональных материалов на основе эпоксидиановой смолы (ЭС).

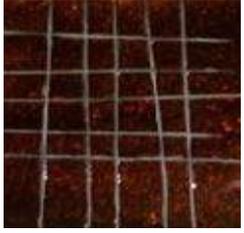
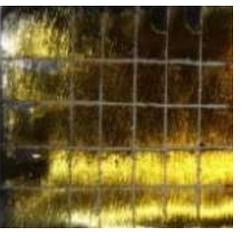
Термореактивные системы на основе эпоксидиановых олигомеров обладают широким спектром ценных свойств: малой усадкой при переходе в твердое состояние, высоким значением адгезионной прочности к различным субстратам, химической стойкостью к действию агрессивных сред. Однако, несмотря на высокие физико-химические и механические свойства композиционных материалов, получаемых на основе ЭС, их существенным недостатком является хрупкость и недостаточная эла-

стичность [1–5]. С целью устранения недостатков и придания новых свойств композиционным материалам на основе ЭС в настоящее время широко применяется метод функционализации ЭС олигомерными или полимерными органическими компонентами, обеспечивающими снижение хрупкости основного связующего и придание эластичных свойств [1–3].

Функционализирующим реагентом являлась фенолоформальдегидная резольная смола (ФФС) (ГОСТ 5962–2013), смешанная в соотношении 1:1 с этиловым спиртом до получения однородного состава. Получены покрытия и блочные материалы на основе исходной и функционализированной ЭС. Показано влияние соотношения компонентов комбинированной матрицы на адгезионные и механические свойства функциональных материалов.

В таблице 1 представлены результаты оценки адгезионной прочности покрытий на основе функционализированной ЭС к металлической поверхности в зависимости от концентрационных соотношений компонентов. Покрытия, формируемые из функционализированной ЭС, однородны, обладают хорошей укрывистостью и повышенной адгезионной прочностью, в отличие от покрытий из исходного реактопласта.

Таблица 1 – Влияние функционализации ЭС на адгезионные свойства композиционных материалов

Свойства	Состав			
	ЭС (100 %)	ЭС (40 %) / ФФС (60 %)	ЭС (50 %) / ФФС (50 %)	ЭС (60 %) / ФФС (40 %)
Адгезия, балл	4	0	0	1
Поверхность покрытия после испытания методом решетчатых надрезов				

На рисунке 1 представлены результаты оценки ударной вязкости полученных композитов. Анализ изменения прочности композитов показал, что оптимальная концентрация ФФС в образце, позволяющая увеличить ударную вязкость композита на 20 %, составляет 50 %. В композициях с составом ЭС (40 %) / ФФС (60 %) и ЭС (60 %) / ФФС (40 %), установлено снижение ударной вязкости на 28 и 39 %, соответственно, в сравнении с нефункционализированной ЭС.

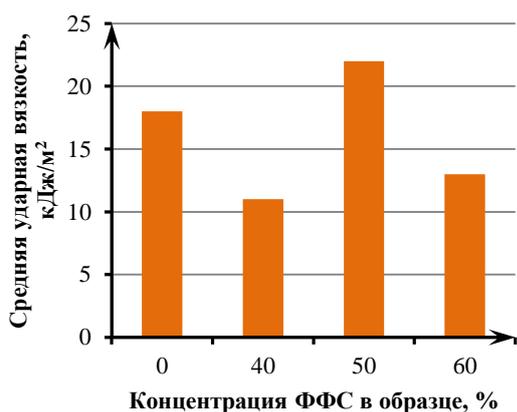


Рисунок 1 – Диаграмма зависимости средней ударной вязкости от концентрации ФФС в образцах

Кроме этого установлено, что при увеличении доли ФФС в композициях до 50 % происходит рост значений работы разрушения с 0,19 Дж для нефункционализированной ЭС до 0,27 Дж для композиций с составом ЭС (50 %) / ФФС (50 %). Полученные результаты свидетельствуют о повышении пластичности материалов и способности к поглощению упругой энергии.

Анализ полученных экспериментальных данных позволяет сделать вывод о том, что для повышения упругих и прочностных свойств композиционного материала необходим подбор оптимального концентрационного соотношения компонентов, при котором структурные участки в составе полиматричного композита могут выступать в качестве локальных релаксаторов внутренних напряжений.

Таким образом, применение ФФС в качестве компонента для функционализации ЭС в ряде случаев является эффективным технологическим приемом, способствующим улучшению эксплуатационных свойств исходного реактопласта. Установленные закономерности могут служить основой для получения функциональных композиционных материалов, применяемых как защитные покрытия изделий железнодорожного назначения.

*Работа выполнена при поддержке ГПНИ «Материаловедение, новые материалы и технологии», задание 4.1.16 «Разработка функциональных композиционных материалов технического назначения для защиты металлических поверхностей и оборудования» (2021–2025 гг.).*

#### Список литературы

- 1 **Кудина, Е.Ф.** Защита газо-нефтепроводов от внешних повреждений. Ч. 1. Полимерные материалы (обзор) / Е. Ф. Кудина // Нефтяник полесья. – 2013. – № 2 (24) – С. 88–93.
- 2 Review on Materials for Composite Repair Systems / V. P. Sergienko [et al.] // Non-destructive Testing and Repair of pipelines / ed. by E. N. Barkanov, A. Dumitrescu, I. A. Parinov. – Springer International Publishing, 2018. – P. 189–269. – ISBN: 978-3-319-56579-8.
- 3 **Кудина, Е.Ф.** Структура и свойства композиционных материалов на основе реактопластов / Е. Ф. Кудина // Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка : материалы 14-й Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 60-летию порошковой металлургии Беларуси, Минск, 09–11 сентября 2020 года. – Минск : Белорусская наука, 2020. – С. 220–224. – EDN CCTTGB.
- 4 Методы химической модификации эпоксидных олигомеров (обзор) / А. Г. Загора [и др.] // Труды ВИАМ. – 2021. – № 7 (101). – С. 73–85. – DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-7-73-85. – EDN PQCSJR.
- 5 **Kudina, H. F.** Composite Materials Intended to Repair Mechanochemical Defects in Pipelines / H. F. Kudina, S. N. Bukharov, V. P. Sergienko // Advances in Engineering Research / ed. by V. M. Petrova. – New York : Nova Science Publishers, Inc., 2019. – Vol. 26. – Chapter 3. – P. 107–172. – ISBN: 978-1-53614-714-8.

УДК 620.197:621

### ИЗОЛЯЦИОННЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ТЕРМОРЕАКТИВНОЙ МАТРИЦЫ

*Е. Ф. КУДИНА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель;  
Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси, г. Гомель*

*И. В. ПРИХОДЬКО, П. А. КУРИЦЫН, Г. Р. ГОНЧАРОВ, И. П. СМОЛЯКОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*Е. В. РИТТЕР*

*ТОО «Электровозсборочный завод» (ЭКЗ), г. Астана, Республика Казахстан*

При создании композиционного материала (КМ) первоочередное значение отводится матрице, которая обеспечивает монолитность материала и обуславливает его основные свойства. Наиболее распространенными видами применяемых в настоящее время реактопластов являются: фенопласты, аминопласты и эпоксипласты. В отличие от терморезактивных полимеров на основе полиэфирных, фенолформальдегидных, мочевино- и меламиноформальдегидных смол, которые могут выделять из материалов токсичные и канцерогенные вещества, эпоксиполимеры практически не выделяют вредных веществ и не имеют запаха в отвержденном состоянии, что определяет их использование как наиболее перспективное среди высокомолекулярных соединений. Связующие на основе эпоксидных смол отличаются широким комплексом физико-механических показателей, которые относятся к наиболее востребованным среди других полимеров с точки зрения применения в производстве клеев, лаков, покрытий, для заливки небольших трансформаторов или узлов аппаратуры, а также изделий различного функционального назначения [1].

Эпоксидные смолы (ЭС) совместимы с большим количеством полярных органических веществ и хорошо смачивают поверхности разных наполнителей, что позволяет широко варьировать свойства модифицированных композиционных материалов (КМ). Наиболее перспективными представляются модификаторы, обладающие синергетическим эффектом и способные встраиваться в эпоксидную матрицу и улучшать свойства КМ в целом. Наиболее эффективны модифицирующие вещества, которые не образуют побочных продуктов реакции и не выделяют летучих веществ в процессе эксплуатации материала на протяжении всего срока службы [2, 3]. Важным компонентом материалов на основе ЭС, помимо модификаторов, является отвердитель. Наиболее применяемым отвердителем является полиэтиленполиамин, обеспечивающий качественное отверждение ЭС.