

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-84-93

Кочергин Ю.С., Григоренко Т.И., Золотарева В.В.Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского***E-mail: viktorias802@gmail.com*

СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СМЕСЕЙ ЭПОКСИДНЫХ ПОЛИМЕРОВ И ОЛИГОСУЛЬФОНОВ. ЧАСТЬ 4. АДГЕЗИОННЫЕ СВОЙСТВА.

Аннотация. Исследовано влияние олигосульфонов с концевыми карбоксильными и фенольными группами и молекулярной массой от 1200 до 44500 на адгезионные свойства эпоксидных полимеров при сдвиге и отрыве клеевых соединений. Показано, что модификация приводит к формированию систем, характеризующихся улучшенными адгезионными свойствами, особенно при повышенных температурах испытания. Установлено, что существует оптимальный диапазон концентраций и молекулярных масс олигосульфонов (ориентировочно от 2000 до 20000), который обеспечивает максимальный эффект модификации. Предположено, что формирующиеся в эпоксидной матрице частицы олигосульфонов с малой молекулярной массы имеют размеры и объем, недостаточные, чтобы быть эффективной преградой на пути распространения возможной в полимере трещины. В то же время олигосульфоны с большой молекулярной массой способны включать в свой объем определенную часть эпоксидной смолы. Это приводит к относительному уменьшению в композиции доли эпоксидной составляющей, которая в значительной мере определяет адгезию к склеиваемому материалу. Показано, что величина эффекта модификации практически не зависит от природы концевых групп. Максимальный комплекс свойств реализуется для олигосульфонов с концевыми карбоксильными группами и молекулярной массой в диапазоне от 2500 до 4700 при их концентрации 3–10 масс. ч. на 100 масс. ч. эпоксидного олигомера. Для олигосульфона с концевыми карбоксильными группами и молекулярной массой 4700 при концентрации 10 масс. ч. удается повысить прочность клеевых соединений при сдвиге в 1,47 и 3,58 раза и отрыве в 1,39 и 5,08 раза соответственно при температурах испытания 293 и 423 К. Результаты исследований позволяют рекомендовать эпоксидно-олигосульфоновые смеси для разработки конструкционных клеев, работоспособных в широком интервале температур.

Ключевые слова: эпоксидная смола, отвердитель, олигосульфоны, концевые карбоксильные и фенольные группы, модификация, адгезионные свойства.

Введение. В настоящее время для модификации эпоксидных смол с успехом применяют добавки высокомолекулярных ароматических полисульфонов [1–3]. Модифицирующий эффект таких добавок заключается в улучшении влагостойкости, теплостойкости, прочности при разрыве и ударной прочности эпоксидных композиций.

Ряд работ [4–12] посвящен исследованию взаимодействия на границе раздела модифицированная полисульфоном эпоксидная смола–волокно. Авторами показано, что прочность сцепления полимерной матрицы с волокном имеет экстремальную зависимость с максимумом при содержании полисульфона 10 масс. ч. При этом увеличение прочности составляет примерно 25 %. Для данной системы согласно [12] наблюдается также увеличение адгезионной прочности при сдвиге, которое составляет примерно 2,5 раза (рост с 6,4 до 16,3 МПа). При этом следует обратить внимание на очень низкую базу для сравнения: всего 6,4 МПа для немодифицированного полимера. Изменение адгезионной прочности

было связано с изменением структуры межфазного слоя [10, 11]. На основе проведенных исследований были разработаны связующие для композиционных материалов с повышенной стойкостью к ударным нагрузкам, трещиностойкостью и теплостойкостью [13, 14–21].

Ранее нами описано влияние добавок низкомолекулярных полисульфонов (олигосульфонов) на теплофизические, деформационно-прочностные и релаксационные свойства эпоксидных полимеров [22–24].

В продолжение исследований целью настоящей работы явилось изучение влияния полисульфонов на адгезионные свойства эпоксидных полимеров.

Методология. В качестве объектов исследования выбраны эпоксидные полимеры на основе промышленной смолы марки ЭД-20 с массовой долей эпоксидных групп 21,3 % и молекулярной массой (ММ) – 410. Отвердителем служил диэтилентриаминометилфенол марки УП-583Д. В качестве модификаторов были использованы

олигосульфоны (ОСФ) с концевыми карбоксильными группами и концевыми фенольными группами (таблица). Совмещение олигосульфоносов с эпоксидной смолой проводили при 393 К.

Отверждение композиций вели без подвода тепла извне при температуре 293 ± 1 К в течение 240 ч.

Таблица 1.

Свойства олигосульфоносов.

Шифр образца	Молекулярная масса	Параметр растворимости,* (МДж/м ³) ^{0,5}	Температура размягчения, К	
			в капилляре	термомеханический метод
Б-3-К	1200	20,27	425–431	423
Б-6-К	2500	20,33	431–438	433
Б-10-К	4700	20,42	450–456	451
Б-50-К	22500	20,46	–	466
Б-3-Ф	1480	20,91	427 - 432	436
Б-30-Ф	13500	20,66	-	463
Б-100-Ф	44500	20,46	-	478

*) Определяли расчетным путем по формуле [25]:

$$\delta = \left(\frac{\sum \Delta E_i^*}{N_A \sum \Delta V_i} \right)^{1/2}, \quad (1)$$

где ΔE_i – вклад каждого атома и типа межмолекулярного взаимодействия в величину эффективной мольной энергии когезии; N_A – число Авогадро; ΔV_i – вандерваальсовый объем молекулы, складывающийся из вандерваальсовых объемов атомов.

Адгезионную прочность при сдвиге (τ_b) и отрыве ($\sigma_{отр}$) определяли по ГОСТ 14759-69 и 14760-69 соответственно. Поверхности под склеивание стальных образцов (Ст.3) обрабатывали на шлифовальной плите с помощью электрокорунда до равномерной шероховатости, после чего обезжиривали ацетоном.

Основная часть. Как видно из рис. 1, модификация эпоксидных полимеров олигосульфонами с концевыми карбоксильными группами дает возможность улучшить адгезионные характеристики как при комнатной, так и повышенной (423К) температурах. Причем зависимость прочности при сдвиге от содержания ОСФ при комнатной температуре выражена весьма слабо. Для ОСФ с ММ от 2500 до 4700 наблюдается размытый максимум с вершиной приблизительно при 10 масс. ч. Для олигосульфоносов с ММ < 2500 и ММ > 4700 максимумы τ_b выражены еще слабее, и их вершины проявляются в диапазоне концентраций 1–3 масс. ч. Значения максимальных величин τ_b для ОСФ различной ММ приведены на рис. 2. Из него отчетливо видно преимущество олигосульфона Б-10-К над другими добавками с меньшей или большей ММ. При этом увеличение τ_b для эпоксидного полимера, содержащего олигосульфон Б-10-К, относительно немодифицированного образца составляет около 47%. Более рельефно эффект упрочнения при модификации эпоксидных

смол ОСФ проявляется при повышенной температуре испытания (рис. 1б). Максимумы τ_b выражены намного отчетливее по сравнению с комнатной температурой испытания. Наибольшее увеличение адгезионной прочности при сдвиге наблюдается для ОСФ марок Б-6-К и Б-10-К (рис. 2б) и составляет примерно 3,5 раза. Аналогичная картина наблюдается и для зависимости адгезионной прочности при равномерном отрыве $\sigma_{отр}$ (рис. 3). При комнатной температуре наилучшие результаты обеспечивают те же ОСФ (Б-6-К и Б-10-К), что и в случае τ_b . Причем для Б-10-К эффект выражен более явно (рис. 4а). В случае его введения в состав композиции увеличение $\sigma_{отр}$ составляет около 40%, т. е. примерно такую же величину, что и для τ_b . При повышенной температуре эффект увеличения $\sigma_{отр}$, как и в случае τ_b , выражен более четко (рис. 3б). Наибольший рост $\sigma_{отр}$ имеет место для Б-10-К и Б-50-К. Так, для Б-10-К увеличение $\sigma_{отр}$ составляет более 5 раз относительно немодифицированного образца (рис. 4б). Природа концевых реакционноспособных групп (карбоксильные или фенольные) не оказывает заметного влияния на величину адгезионной прочности (рис. 5). При этом несколько большие значения $\sigma_{отр}$, как при комнатной, так и повышенной температуре испытания могут быть в большей степени обусловлены не химической природой концевых групп ОСФ, а более высокой молекулярной массой Б-3-Ф (1470) по сравнению с Б-3-К (1200). Как следует из рис. 6, концентрационные зависимости адгезионной прочности для ОСФ с фенольными группами аналогичны таковым для ОСФ с карбоксильными группами. Однако достигаемые максимальные значения $\sigma_{отр}$ при введении ОСФ с фенольными группами ниже, чем в случае ОСФ с карбоксильными группами (рис. 4). На

основе полученных зависимостей можно заключить, что существует оптимальный диапазон концентраций и молекулярных масс ОСФ (ориентировочно $2000 < MM < 20000$), который обеспечивает максимальный эффект модификации. По-видимому, при $MM < 2000$ формирующиеся в эпоксидной матрице частицы ОСФ имеют размеры и объем, недостаточные, чтобы реализовать эффект упрочнения, прежде всего быть эффективной преградой на пути распространения возможной в полимере трещины. При $MM > 20000$, вероятно, олигосульфон, благодаря хорошей совместимости компонентов, способен окклюлировать (включать в свой объем) определенную часть эпоксидной смолы, что приводит

к относительному уменьшению концентрации эпоксидной матрицы в композиции, которая в значительной мере и определяет величину адгезии к склеиваемому материалу. Кроме того, определенный вклад в упрочнение клевого шва будут вносить и дополнительные водородные связи, которые образуются между полярными группами молекул эпоксидной смолы, отвердителя и ОСФ. Повышение адгезионной прочности при повышенной температуре может быть также связано с увеличением плотности химической сетки в эпоксидной матрице при введении модификаторов, а также насыщением системы компонентом с более высокими жесткостью и теплостойкостью.

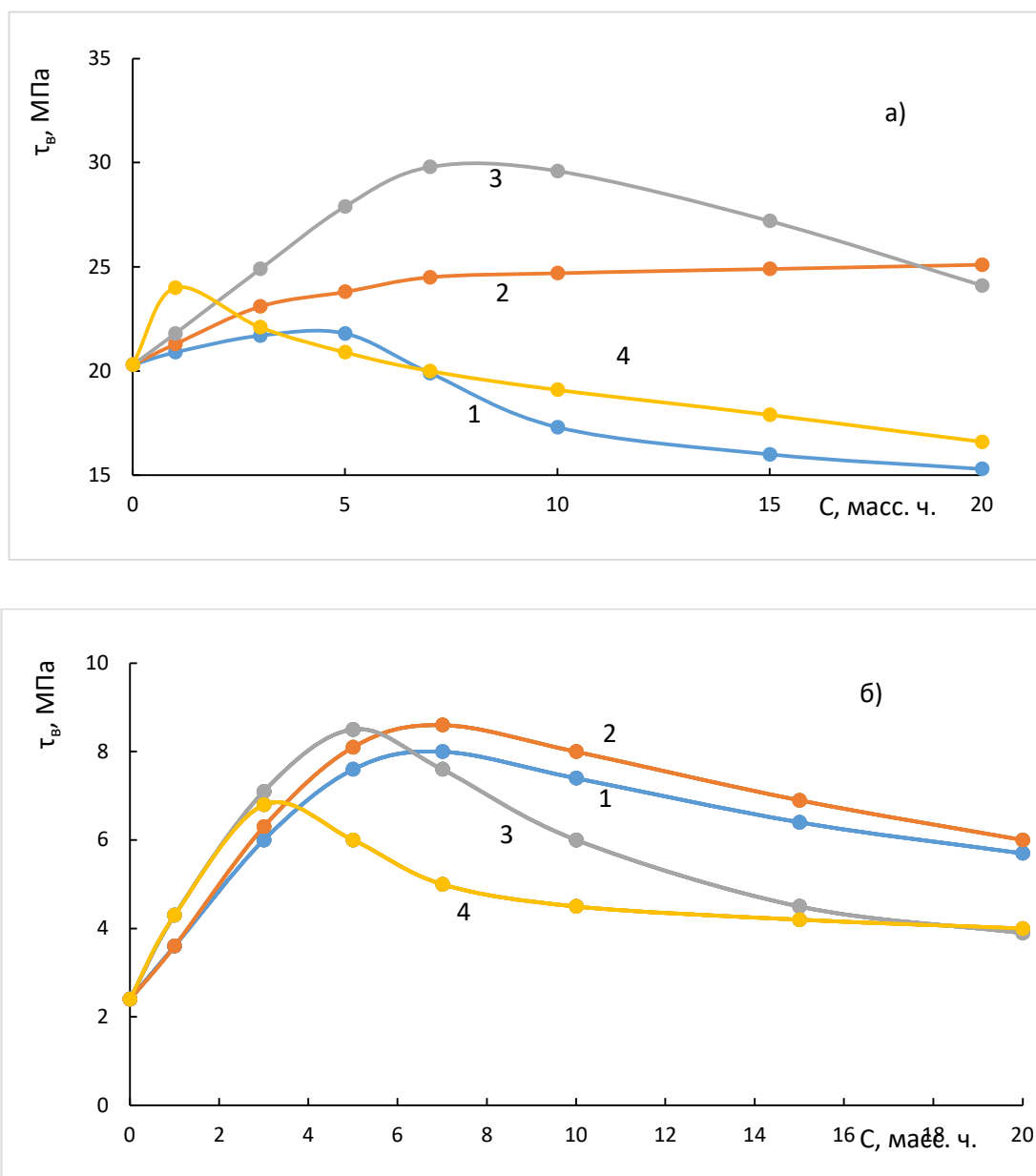


Рис. 1. Зависимость адгезионной прочности при сдвиге от концентрации олигосульфонов Б-3-К (1), Б-6-К (2), Б-10-К (3) и Б-50-К (4) в эпоксидных композициях. Температура испытания 293 К (а) и 423 К (б)

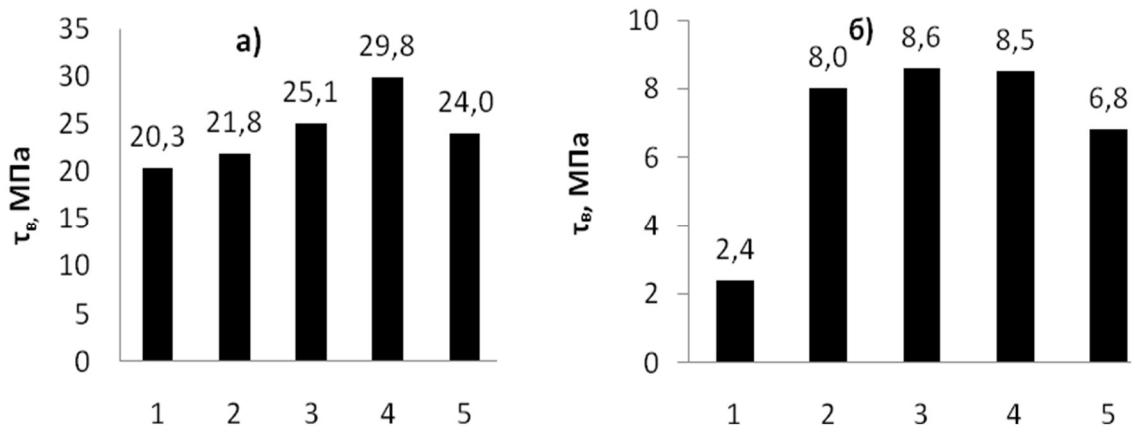


Рис. 2. Максимальные значения адгезионной прочности при сдвиге, измеренной при 293 К (а) и 423 К (б), для исходного эпоксидного полимера (1) и модифицированного Б-3-К (2), Б-6-К (3), Б-10-К (4) и Б-50-К (5).

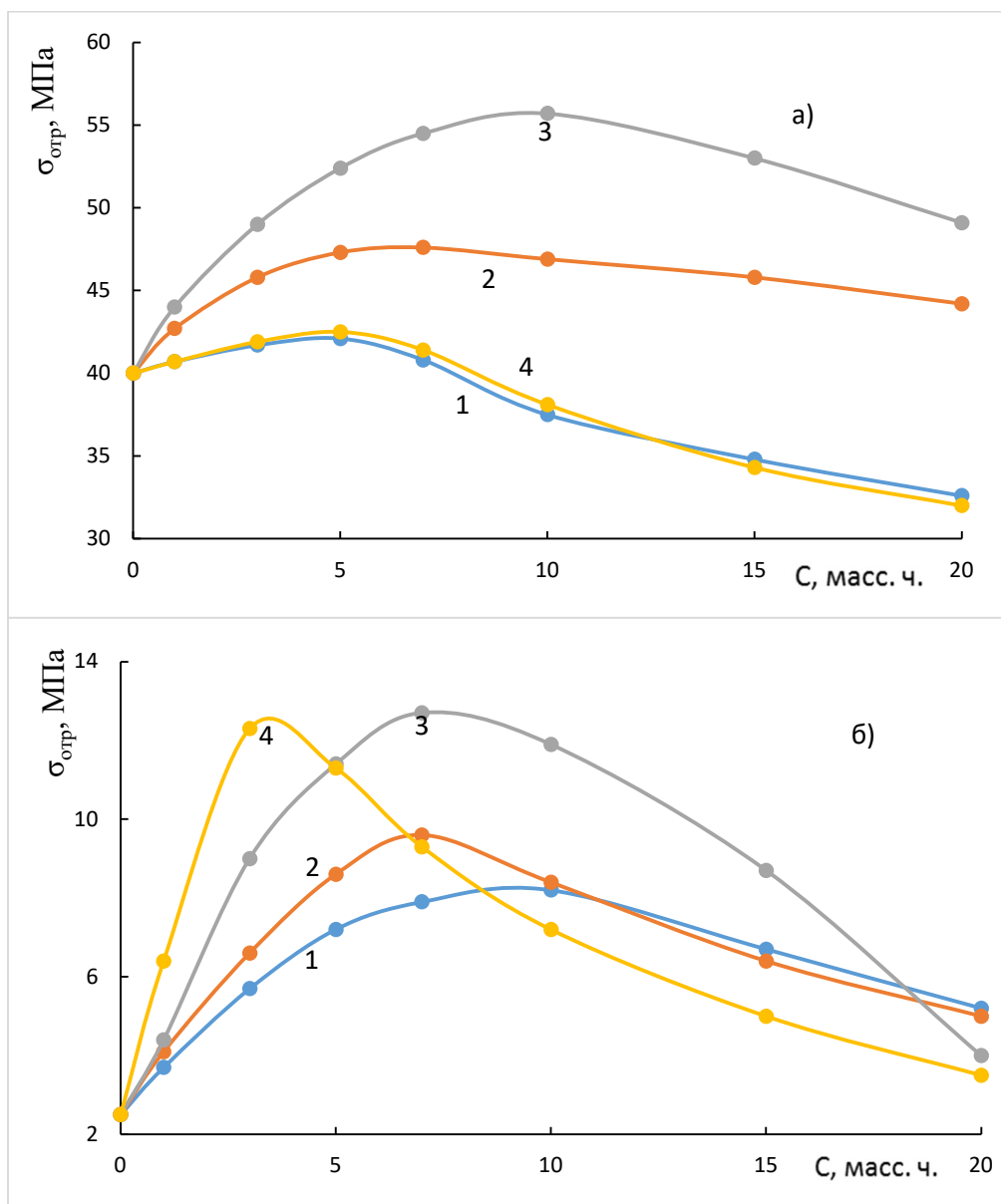


Рис. 3. Зависимость адгезионной прочности при отрыве от концентрации олигосульфонов Б-3-К (1), Б-6-К (2), Б-10-К (3) и Б-50-К (4) в эпоксидных композициях. Температура испытания 293 К (а) и 423 К (б).

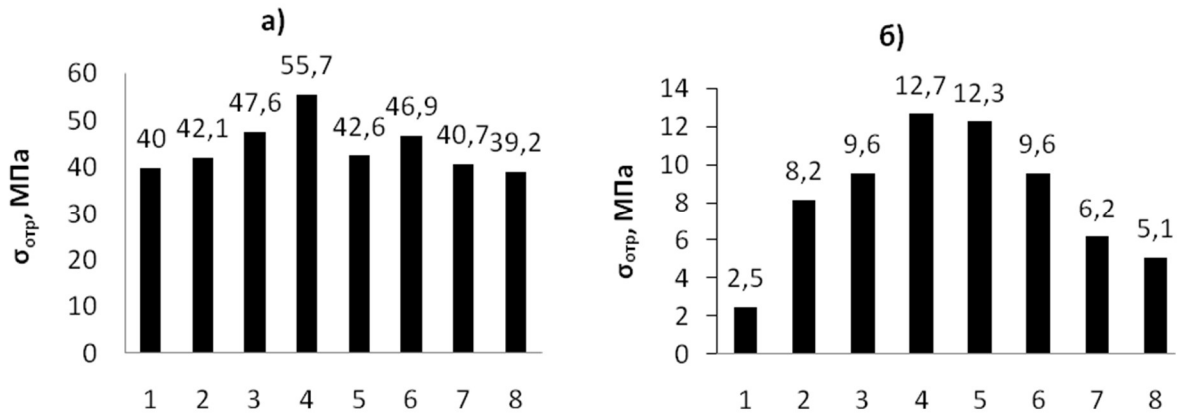


Рис. 4. Максимальные значения адгезионной прочности при отрыве, измеренной при 293 К (а) и 423 К (б), для исходного эпоксидного полимера (1) и модифицированного Б-3-К (2), Б-6-К (3), Б-10-К (4), Б-50-К (5), Б-3-Ф (6), Б-30-Ф (7) и Б-100-Ф (8)

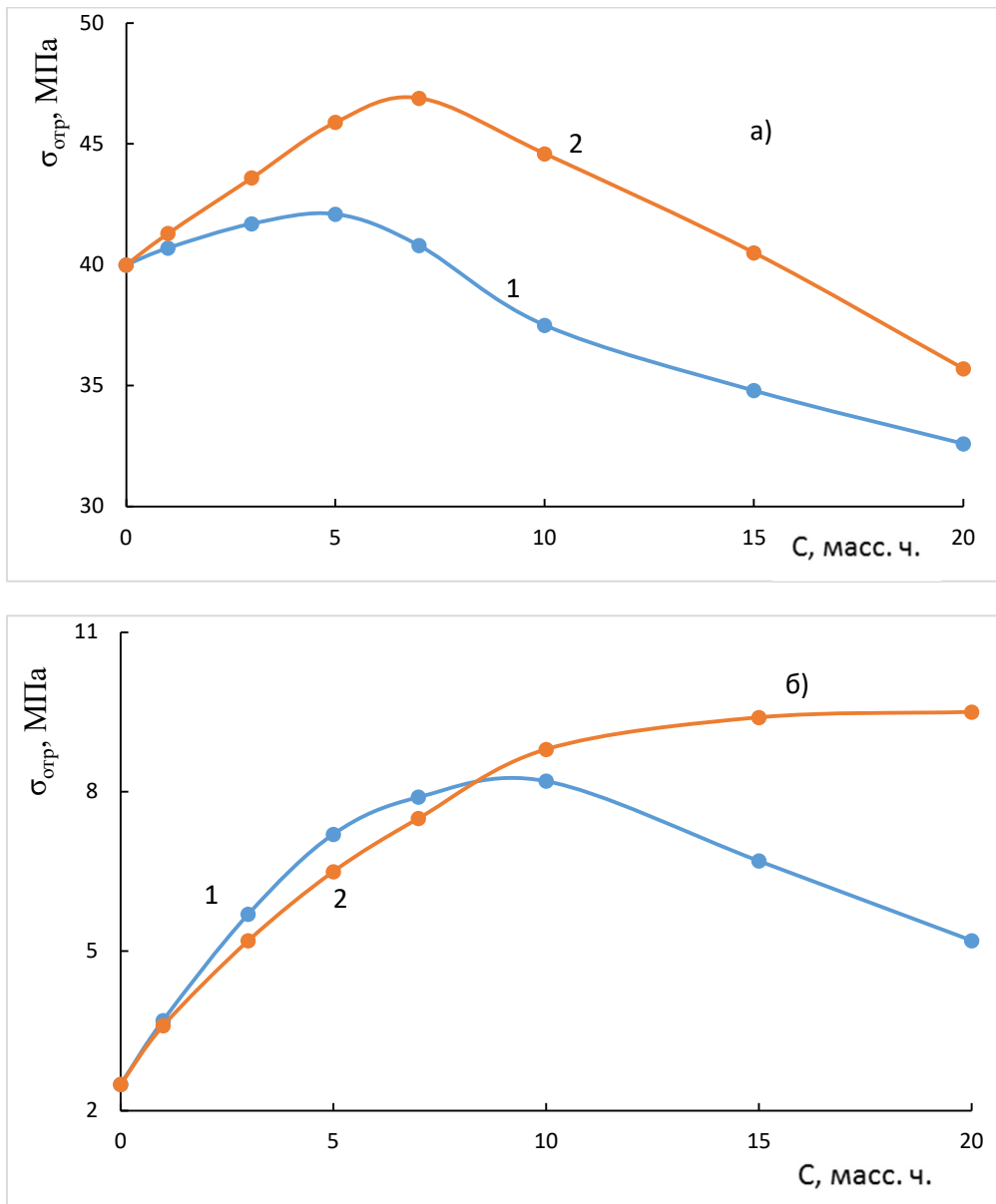


Рис. 5. Зависимость адгезионной прочности при отрыве от концентрации олигосульфонов Б-3-К (1) и Б-3-Ф (2) в эпоксидных композициях. Температура испытания 293 К (а) и 423 К (б)

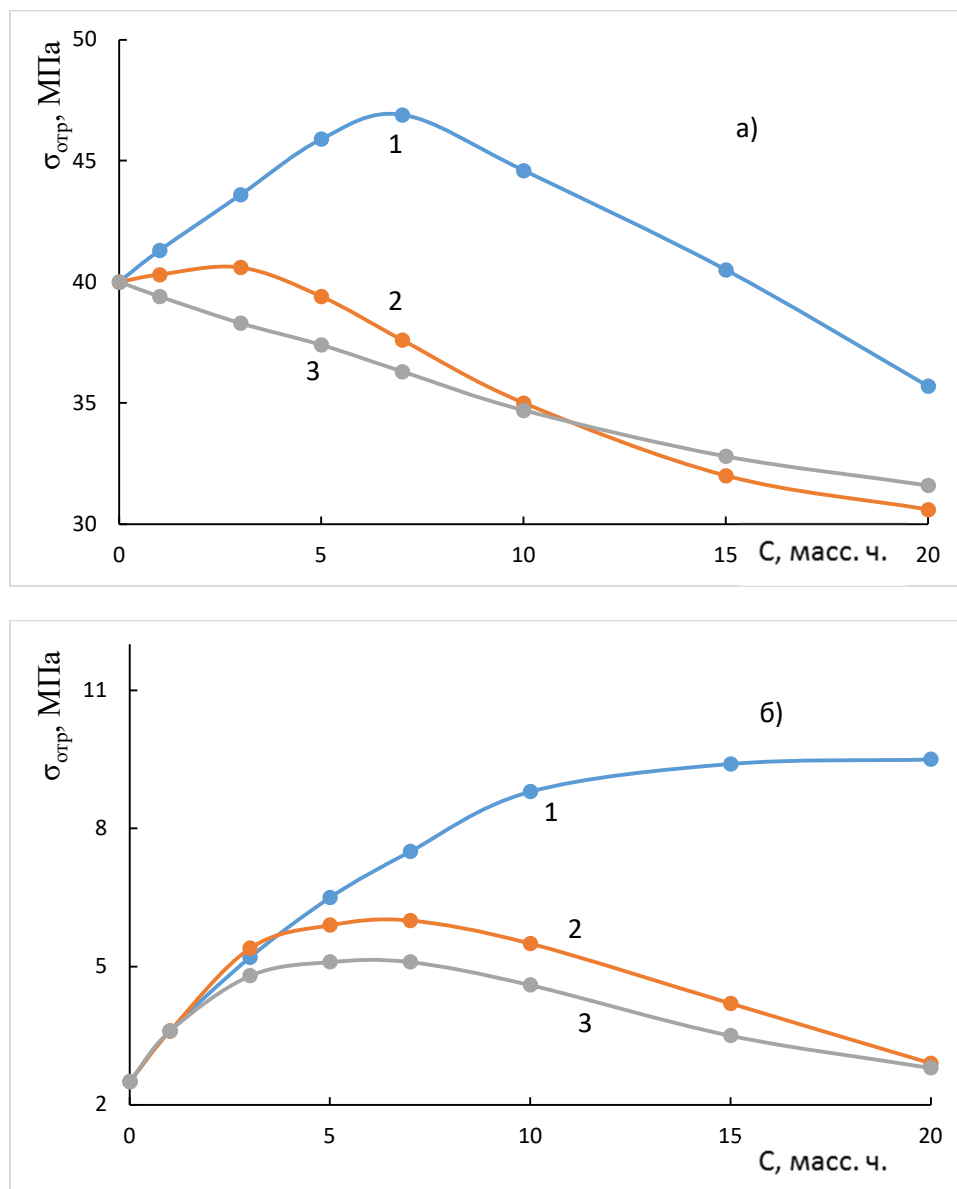


Рис. 6. Зависимость адгезионной прочности при отрыве от концентрации олигосульфонов Б-3-Ф (1), Б-30-Ф (2) и Б-100-Ф (3) в эпоксидных композициях. Температура испытания 293 К (а) и 423 К (б).

Выводы. Таким образом, модификация ЭО олигосульфонами приводит к формированию систем, характеризующихся улучшенными адгезионными свойствами. В большей степени эффект упрочнения проявляется при повышенных температурах. Величина эффекта в большей степени зависит от количества введенного модификатора и его молекулярной массы и в значительно меньшей мере – от природы концевых групп. Максимальный комплекс свойств реализуется для олигосульфонов с концевыми карбоксильными группами и молекулярной массой в диапазоне от 2500 до 4700 при их концентрации 3–10 масс. ч. на 100 масс. ч. эпоксидного олигомера. Полученные данные свидетельствуют о том, что использование олигосульфонов в качестве модификаторов эпоксидных смол позволяет получать полимеры с высокими адгезионными свойствами (особенно при повышенных температурах), которые могут

применяться как конструкционные клеи в различных отраслях народного хозяйства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Raghava R.S. Secondary transitions and fracture toughness of cured epoxy resins and their blends with polyethersulfones // 28th Nat. SAMPE Symp. and Exhib. 1983. Vol. 28. Pp. 367–373.
2. Buckall C.B., Partridge I.K. Addition of polyethersulphone to epoxy resins // Brit. Polym. J. 1983. Vol. 15. № 1. Pp. 71–75.
3. Ibrahim A.M., Quinlivan T.J., Seferis J.C. Processing of polyethersulfone reinforced high performance epoxy blends // Amer. Chem. Soc. Polym. Prepr. 1985. Vol. 26, № 1. Pp. 277–278.
4. Горбунова И.Ю., Кербер М.Л., Шустов М.В. Особенности поведения эпоксидных связующих, модифицированных термопластом // Пласт. массы. 2003. № 12. С. 38–41.

5. Горбаткина Ю.А. Влияние модификаторов на адгезионные свойства полимерных композиций. Часть 1. Общие представления // Клеи. Герметики. Технологии. 2004. №4. С. 18–24.
6. Горбаткина Ю.А. Влияние модификаторов на адгезионные свойства полимерных композиций. Часть 2. Эпоксидиановые олигомеры (окончание) // Клеи. Герметики. Технологии. 2004. №5. С. 24–29.
7. Solodilov V.I., Gorbatkina Yu. A. Properties of unidirectional GFRPs based on an epoxy resin modified with polysulphone or an epoxyurethane oligomer // *Mechanics of Composite Materials*. 2006. Vol. 73, № 5. P. 513–526.
8. Горбунова И.Ю., Шустов М.В., Кербер М.Л. Влияние термопластичных модификаторов на свойства и процесс отверждения эпоксидных полимеров // *Инженерно-физический журнал*. 2003. Т. 6. № 3. С. 1–4.
9. Сопотов Р.И., Горбунова И.Ю. Изучение влияния содержания термопластичных модификаторов и режима отверждения на ударную вязкость эпоксидного связующего // *Успехи в химии и химической технологии*. 2013. Т. 27, № 3(143). С. 101–103
10. Чалых А.Е., Герасимов В.К. Фазовые равновесия и фазовая структура смесей полимеров // *Успехи химии*. 2004. Т. 73, №1. С. 63–78.
11. Чалых А.Е., Герасимов В.К., Бухтеев А.Е. Совместимость и эволюция фазовой структуры смесей полисульфон–отверждающиеся эпоксидные олигомеры // *Высокомолек. соед. Сер. А*. 2003. Т. 45, №7. С. 1148–1159.
12. Солодиллов В.И., Горбаткина Ю.А. Свойства однонаправленных стеклопластиков на основе эпоксидной смолы, модифицированной полисульфоном или эпоксиуретановым олигомером // *Механика композитных материалов*. 2006. Т. 42, № 6. С. 739–758.
13. Солодиллов В.И., Баженов С.Л., Горбаткина Ю.А., Куперман А.М. Определение энергии межслойного разрушения стеклопластика на образцах в виде сегментов кольца // *Механика композитных материалов*. 2003. Т. 38, № 5. С. 615–626.
14. Солодиллов В.И., Корохин Р.А., Горбаткина Ю.А., Куперман А.М. Органопластики на основе сложных гибридных матриц, включающих в качестве модификаторов эпоксидных смол полисульфон и углеродные нанотрубки // *Химическая физика*. 2012. Т. 3, №6. С. 63–71.
15. Солодиллов В.И., Горбаткина Ю.А., Корохин Р.А., Куперман А.М. Свойства намоточных органопластиков на основе эпоксисульфоно-
- вых матриц и пирамидных волокон Армос и Русар // *Клеи. Герметики. Технологии*. 2018. №2. С. 2–7.
16. Solodilov V.I., Gorbatkina Yu.A., Korokhin R.A., Kuperman A.M. Properties of filament-wound organoplastics based on epoxy polysulfone matrices and Armos and Rusar aramid fibers // *Polymer Science*. 2018. Series D. Vol. 11, issue 3. Pp. 247–251.
17. Солодиллов В.И., Бессонов И.В., Кирейнов А.В., Тараскин Н.Ю., Куперман А.М. Свойства стеклопластиков на основе эпоксидного связующего, модифицированного фурфуролактоновой смолой и полисульфоном // *Композиты и наноструктуры*. 2016. Т.8, №2. С.77–87.
18. Solodilov V.I., Korokhin R.A., Gorbatkina Yu.A., Kuperman A.M. Comparison of structure energies of epoxy-polysulfone matrices and unidirectional composites based on them // *Mechanics of Composite Materials*. 2015. V. 51, №2. Pp. 177–190.
19. Korokhin R.A., Solodilov V.I., Gorbatkina Yu.A., Shapagin A.V. Rheological and physico-mechanical properties of epoxy-polyetherimide compositions // *Mechanics of Composite Materials*. 2015. V. 51, №3. Pp. 313–320.
20. Korokhin R.A., Solodilov V.I., Gorbatkina Yu.A., Kuperman A.M. Carbon nanotubes as modifiers for epoxy-polysulfone matrices for wound organic fiber reinforced plastics // *Mechanics of Composite Materials*. 2013. V. 49, №1. Pp. 51–58.
21. Дементьева Л.А., Куцевич К.Е., Лукина Н.Ф., Рубцова Е.В., Петрова А.П. Свойства эпоксидных конструкционных пленочных клеев, модифицированных полисульфоном // *Клеи. Герметики. Технологии*. 2016. №11. С. 13–18.
22. Кочергин Ю.С., Григоренко Т.И., Золотарева В.В. Свойства композиционных материалов на основе смесей эпоксидных полимеров и олигосульфонов. Часть 1. Термомеханические свойства // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2018. № 5. С. 66–77.
23. Кочергин Ю.С., Григоренко Т.И., Золотарева В.В. Свойства композиционных материалов на основе смесей эпоксидных полимеров и олигосульфонов. Часть 2. Статические и динамические релаксационные свойства // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2019. № 6. С. 140–146.
24. Кочергин Ю.С., Золотарева В.В. Свойства композиционных материалов на основе смесей эпоксидных полимеров и олигосульфонов. Часть 3. Физико-механические свойства // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2019. № 11. С. 101–111.
25. Аскадский А.А., Матвеев Ю.И. Химическое строение и физические свойства полимеров. М.: Химия, 1983. 248 с.

Информация об авторах

Кочергин Юрий Сергеевич, доктор технических наук, профессор кафедры общепрофессиональных дисциплин. E-mail: ivano.tanu2011@yandex.ua. Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского. Украина, 83117, Донецк, ул. Щорса, 31.

Григоренко Татьяна Ильинишна. Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского. Украина, 83117, Донецк, ул. Щорса, 31.

Золотарева Виктория Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры товароведения и экспертизы непродовольственных товаров E-mail: viktoria802@gmail.com. Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского» Украина, 83117, Донецк, ул. Щорса, 31.

Поступила 26.01.2020 г.

© Кочергин Ю.С., Григоренко Т.И., Золотарева В.В., 2020

**Kochergin Y.S., Grigorenko T.I., Zolotareva V.V.*

Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky

Ukraine, 83117, Donetsk, st. Shchorsa 31

**E-mail: viktoria802@gmail.com*

PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS BASED ON MIXTURES OF EPOXY POLYMERS AND OLIGOSULFONES. PART 4. ADHESION PROPERTIES

Abstract. *The influence of oligosulfons with terminal carboxyl and phenolic groups and a molecular weight from 1200 to 44500 on the adhesion properties of epoxy polymers during the shift and separation of adhesive compounds is studied. It is shown that modification leads to the formation of systems characterized by improved adhesion properties, especially at elevated test temperatures. It is established that there is an optimal range of concentrations and molecular weights of oligosulfons (approximately from 2000 to 20000), which provides the maximum effect of modification. It is assumed that the oligosulfon's particles formed in the epoxy matrix with a small molecular weight have dimensions and volume that are insufficient to be an effective barrier to the propagation of a possible crack in the polymer. At the same time, an oligosulfon with a large molecular weight is able to include a certain part of the epoxy resin in its volume. This leads to a relative decrease in the composition of the share of the epoxy component, which largely determines the adhesion to the material to be bonded. It is shown that the magnitude of the modification effect practically does not depend on the nature of the end groups. The maximum set of properties is realized for oligosulfones with terminal carboxyl groups and a molecular weight in the range from 2500 to 4700, when the concentration of 3–10 mass parts on 100 mass parts epoxy oligomer. For oligosulfone with terminal carboxyl groups and a molecular weight of 4700 at a concentration of 10 mass parts manages to increase adhesive strength at a shear of 1.47 and 3.58 times and tensile strength of 1.39 and 5.08 times, respectively, at test temperatures of 293 and 423 K. The research results allow to recommend epoxy-oligosulfone mix to design of structural adhesives, operable in a wide temperature range.*

Keywords: *epoxy resin, hardener, oligosulfones, terminal carboxyl and phenolic groups, modification, adhesion properties.*

REFERENCES

1. Raghava R.S. Secondary transitions and fracture toughness of cured epoxy resins and their blends with polyethersulfones. 28th Nat. SAMPE Symp. and Exhib., 1983. Vol. 28. Pp. 367–373
2. Buckall C.B., Partridge I.K. Addition of polyethersulphone to epoxy resins. Brit. Polym. J., 1983. Vol. 15, No. 1. Pp. 71–75.
3. Ibrahim A.M., Quinlivan T.J., Seferis J.C. Processing of polyethersulfone reinforced high performance epoxy blends. Amer. Chem. Soc. Polym. Prepr., 1985. Vol. 26, No. 1. Pp. 277–278

4. Gorbunova I. Yu., Kerber M. L., Shustov M. V. Features of behavior of epoxy binders modified by thermoplastics [Osobennosti ovedeniya ehпоксидных svyazuyushchih modifitsirovannyh termoplastom]. Plast. Masses. 2003. No. 12. Pp. 38–41. (rus)
5. Gorbatkina Yu.A. The influence of modifiers on adhesion properties of polymer compositions. Part 1. Common views [Vliyanie modifikatorov na adgezionnye svoystva polimernykh kompozitsij. Chast.1. Obshchie predstavleniya]. Glues. Sealants. Technologies, 2004. No. 4. Pp. 18–24. (rus)
6. Gorbatkina Yu.A. The influence of modifiers on adhesion properties of polymer compositions.

Part 2. Epoxy oligomers (end) [Vliyanie modifikatorov na adgezionnye svoystva polimernykh kompozitsiy. Chast. 2. Ehpoksidanovye oligomery (okonchanie)]. Glues. Sealants. Technologies, 2004. No. 5. Pp. 24–29. (rus)

7. Solodilov V.I., Gorbatkina Yu.A. Properties of unidirectional GFRPs based on an epoxy resin modified with polysulphone or an epoxy oligomer. *Mechanics of Composite Materials*, 2006. Vol. 73, No. 5. Pp. 513–526.

8. Gorbunova I.Yu., Shustov M.V., Kerber M.L. The influence of thermoplastic modifiers on properties and curing process of epoxy polymers [Vliyanie termoplastichnykh modifikatorov na svoystva i process otverzheniya ehpoksidnykh polimerov]. *Engineering-physical Journal*, 2003. Vol. 6, No. 3. Pp. 1–4. (rus)

9. Sopotov R.I., Gorbunova I.Y. Study of the influence of the content of thermoplastic modifiers and curing regime on the toughness of epoxy-amine binder [Izuchenie vliyaniya sodержaniya termoplastichnykh modifikatorov i rezhima otverzheniya na udarnuyu vyazkost ehpoksiaminnogo svyazuyushchego]. *Successes in chemistry and chemical technology*, 2013. Vol. 27, No. 3(143). Pp. 101–103. (rus)

10. Chalykh A.E., Gerasimov V.K.. Phase equilibrium and phase structure of polymer mixtures [Fazovye ravnovesiya i fazovaya struktura smesey polimerov]. *Advances in chemistry*, 2004. Vol. 73, No. 1. Pp. 63–78. (rus)

11. Chalykh A.E., Gerasimov V.K., Bukhteev A.E. Compatibility and the evolution of the phase structure of blends of polysulfone – curing epoxy resins [Sovmestimost i ehvolyuciya fazovoy struktury smesey polisulfon-otverzhdayushchiesya ehpoksidnye oligomery]. *High-molecular compounds. Ser. A*, 2003. Vol. 45, No. 7. Pp. 1148–1159. (rus)

12. Solodilov V.I., Gorbatkina Yu.A. Properties of unidirectional fiberglass based on epoxy resin modified with polysulfone or epoxyurethane oligomer [Svoystva odnonapravlenykh stekloplastikov na osnove ehpoksidnoj smoly modifitsirovannoy polisulfonom ili ehpoksiuretanovym oligomerom]. *Mechanics of composite materials*, 2006. Vol. 42, No. 6. Pp. 739–758. (rus)

13. Solodilov V.I., Bazhenov S.L., Gorbatkina Yu.A., Kuperman A.M. Determination of energy of interlaminar fracture of glass on the samples in the form of segments of rings [Opredelenie ehnergii mezhslonjogo razrusheniya stekloplastika na obrazcah v vide segmentov kolca]. *Mechanics of composite materials*, 2003. Vol. 38, No. 5. Pp. 615–626. (rus)

14. Solodilov V.I., Korokhin R.A., Gorbatkina Yu.A., Kuperman A.M. Organoplastic on the basis

of a complex hybrid matrix, such as modifiers of epoxy resins polysulfone and carbon nanotubes [Organoplastiki na osnove slozhnykh gibridnykh matric vklyuchayushchih v kachestve modifikatorov ehpoksidnykh smol polisulfon i uglernyye nanotrubki]. *Chemical physics*, 2012. Vol. 3, No. 6. Pp. 63–71. (rus)

15. Solodilov V.I., Gorbatkina Yu.A., Korokhin R.A., Kuperman A.M. Properties of filament-wound organoplastics based on epoxy polysulfone matrices and Armos and Rusar aramid fibers [Svoystva namotochnykh organoplastikov na osnove ehpoksisulfonovykh matric i paramidnykh volokon Armos i Rusar]. *Glues. Sealants. Technologies*, 2018. No. 2. Pp. 2–7. (rus)

16. Solodilov V.I., Gorbatkina Yu.A., Korokhin R.A., Kuperman A.M. Properties of filament-wound organoplastics based on epoxy polysulfone matrices and Armos and Rusar aramid fiber *Polymer Science, Ser. D*, 2018. Vol. 11, No. 3. Pp. 247–251.

17. Solodilov V.I., Bessonov I.V., Kuranov A.V., Taraskin N.Yu., Kuperman, A. M., Properties of glass-reinforced plastics based on epoxy resins modified with furfuralcohol resin and polysulfone [Svoystva stekloplastikov na osnove ehpoksidnogo svyazuyushchego modifitsirovannogo furfuralactonovoy smoloy i polisulfonom]. *Composites and nanostructures*, 2016. Vol. 8, No. 2. Pp. 77–87. (rus)

18. Solodilov V.I., Korokhin R.A., Gorbatkina Yu.A., Kuperman A.M. Comparison of structure energies of epoxy-polysulfone matrices and unidirectional composites based on them. *Mechanics of Composite Materials*, 2015. Vol. 51, No. 2. Pp. 177–190.

19. Korokhin R.A., Solodilov V.I., Gorbatkina Yu.A., Shapagin A.V. Rheological and physicomechanical properties of epoxy-polyetherimide compositions. *Mechanics of Composite Materials*, 2015. Vol. 51, No. 3. Pp. 313–320.

20. Korokhin R.A., Solodilov V.I., Gorbatkina Yu.A., Kuperman A.M. Carbon nanotubes as modifiers for epoxy polysulfone matrices for wound organic fiber reinforced plastics. *Mechanics of Composite Materials*, 2013. Vol. 49, No. 1. Pp. 51–58.

21. Dementieva L.A., Kuntsevich K.E., Lukina N.F., Rubtsova E.V., Petrova A.P. Properties of epoxy structural film adhesives modified with polysulfone [Svoystva epoksidnykh konstruktsionnykh plenochnykh kleev, modifitsirovannykh polisulfonom]. *Glues. Sealants. Technologies*. 2016. No. 11. Pp. 13–18. (rus)

22. Kochergin Yu.S., Grigorenko T.I., Zolotareva V.V. Properties of composite on the basis of mixtures of epoxy polymers and oligosulfones. Part 1. Thermomechanical properties [Svoystva kompozitsionnykh materialov na osnove

smesej ehpkosidnyh polimerov i oligosulfonov. Chast 1. Termomekhanicheskie svojstva]. Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov, 2018. No. 5. Pp. 66–77. (rus)

23. Kochergin Yu.S., Grigorenko T.I., Zolotareva V.V. Properties of composite on the basis of mixtures of epoxy polymers and oligosulfones. Part 2. Static and dynamic relaxation properties [Svojstva kompozicionnyh materialov na osnove smesey ehpkosidnyh polimerov i oligosulfonov. Chast 2. Sticheskie i dinamicheskie relaksacionnye svojstva]. Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov, 2019. No. 6. Pp. 140–146. (rus)

24. Kochergin Yu.S., Zolotareva V.V. Properties of composite on the basis of mixtures of epoxy polymers and oligosulfones. Part 3. Physico-mechanical properties [Svojstva kompozicionnyh materialov na osnove smesey ehpkosidnyh polimerov i oligosulfonov. Chast 3. Fiziko-mekhanicheskie svojstva]. Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov, 2019. No. 11. Pp. 101–111. (rus)

25. Askadsky A.A., Matveev Yu.I. Chemical structure and physical properties of polymers [Himicheskoe stroenie i fizicheskie svojstva polimerov]. Moscow: Chemistry, 1983. 248 p. (rus)

Information about the authors

Kochergin, Yuri S. PhD, Professor. E-mail: ivano.tanya2011@yandex.ua. Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky Ukraine, 83117, Donetsk, st. Shchorsa 31

Grigorenko, Tat'yana I. Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky Ukraine, 83117, Donetsk, st. Shchorsa 31.

Zolotareva, Victoriya V. PhD, Assistant professor. E-mail: viktorija802@gmail.com Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky Ukraine, 83117, Donetsk, st. Shchorsa 31.

Received 26.01.2020

Для цитирования:

Кочергин Ю.С., Григоренко Т.И., Золотарева В.В. Свойства композиционных материалов на основе смесей эпоксидных полимеров и олигосульфонов. Часть 4. Адгезионные свойства // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 4. С. 84–93. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-84-93

For citation:

Kochergin Y.S., Grigorenko T.I., Zolotareva V.V. Properties of composite materials based on mixtures of epoxy polymers and oligosulfones. Part 4. Adhesion properties. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 4. Pp. 84–93. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-84-93