

УДК 678.7

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СОВМЕЩЕНИЯ ЭПОКСИДНЫХ ОЛИГОМЕРОВ С ПОЛИАРИЛАТОМ

Гусева М.А., Афанасьева Е.А., Хасков М.А., Антюфеева Н.В.

*Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ), г. Москва, Россия*

### АННОТАЦИЯ

В представленной работе методами ротационной вискозиметрии и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) изучена совместимость полиарилата марки ФВ-1 с различными эпоксидными смолами. Особый интерес представляет данный термопласт в качестве модификатора благодаря повышенной теплостойкости. Материалы на его основе получают с более высокими термостойкими и износостойкими свойствами.

Взаиморастворимость компонентов требует к себе внимания, так как этот процесс в значительной степени влияет, как на свойства полимерного композиционного материала (ПКМ), так и на способ получения готового изделия. При плохой совместимости термопластов с реактопластами возможно образование дисперсии и неравномерной завершенности обменных процессов во время переработки, что способно отразиться на структуре и свойствах готового ПКМ.

Из-за непредсказуемости начальных факторов предсказать поведение системы термопласт – реактопласт довольно трудно, поэтому подобные вопросы решаются в основном на практике.

В статье исследовано поведение смесей эпоксидных олигомеров ЭД-20, УП-637, ЭН-6 и ЭХД в зависимости от концентрации термопласта, а также при сравнении друг относительно друга. По результатам испытаний установлено, что подобно другим термопластичным модификаторам, ФВ-1 растворяется в эпоксидных смолах. Однако, в отличие от полиарилсульфонов, температурный диапазон этого процесса сдвигается в область более высоких температур из-за повышенной теплостойкости термопласта в сравнении с полиарилсульфонами. Найдена линейная зависимость температурного интервала растворения термопласта от его содержания в смеси, а также различия в реологическом поведении в зависимости от состава композиции. Показано, что области тепловых эффектов на кривых ДСК, которые совпадают с областями увеличения вязкости по мере нагревания, наблюдаемыми на реологических кривых, относятся не к химическому взаимодействию, а к процессу растворения. Кроме этого, выяснилось, что в результате совмещения происходит постепенное возрастание вязкости. Особенно при высоких температурах.

**Ключевые слова:** реология полимерных связующих; ротационная вискозиметрия; дифференциальная сканирующая калориметрия; модификация; полиарилат; эпоксидные олигомеры

## STUDY OF THE BLENDING PROCESS OF EPOXY OLIGOMERS WITH POLYARYLATE

Guseva M.A., Afanasyeva E.A., Khaskov M.A., Antyufeeva N.V.

*All-Russia Scientific Research Institute of Aviation Materials – State Research center of the Russian Federation, Moscow, Russia*

## ABSTRACT

In the present paper, the methods of rotational viscometry and differential scanning calorimetry (DSC) studied the compatibility of PV-1 polyarylate with various epoxy resins. Of particular interest is this thermoplastic as a modifier due to the increased heat resistance. Materials based on it are obtained with higher heat-resistant and wear-resistant properties.

The inter-solubility of the components requires attention, since this process greatly affects both the properties of the polymer composite material (PCM) and the method of obtaining the finished product. With poor compatibility of thermoplastics with reactoplastics, dispersion can be formed and uneven completion of exchange processes during processing, which can affect the structure and properties of the finished PCM.

Due to the unpredictability of the initial factors, it is rather difficult to predict the behavior of the thermoplast, therefore, such issues are solved mainly in practice.

The article investigated the behavior of mixtures of epoxy oligomers ED-20, UP-637, EN-6 and EHD, depending on the concentration of thermoplastic, as well as when comparing relative to each other. According to test results, it was found that, like other thermoplastic modifiers, PV-1 is dissolved in epoxy resins. However, unlike polyarylsulfones, the temperature range of this process shifts to higher temperatures due to the increased heat resistance of the thermoplastic compared to polyarylsulfones. A linear dependence of the thermoplastic dissolution temperature on its content in the mixture was found, as well as differences in the rheological behavior depending on the composition. It is shown that the regions of thermal effects on the DSC curves, which coincide with the regions of viscosity increase as they are heated, observed on the rheological curves, are not related to the chemical interaction, but to the process of dissolution. In addition, it was found that as a result of the combination, a gradual increase in viscosity occurs, especially at high temperatures.

**Keywords:** rheology of polymeric binder; rotational viscometry; differential scanning calorimetry (dsc); modification; polyarylate; epoxy oligomers

## ВВЕДЕНИЕ

Для создания конкурентоспособных отечественных образцов техники необходимы отечественные материалы с высокими требованиями к механическим и весовым характеристикам. Одна из целей программы «Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» – это полимерные композиционные материалы нового поколения. В сравнении с металлами ПКМ обладают высокими эксплуатационными характеристиками (прочностью, жесткостью, износостойкостью) и низкой стоимостью [1-4].

Для получения высококачественных и уникальных материалов требуется выявление закономерностей, позволяющих оптимизировать состав и характеристики готового связующего, так как на результат влияют не только из каких конкретных смесей олигомеров, добавок, наполнителей получают конечный полимер, но и последовательность их обработки и введения в процессе синтеза [5-8].

Эпоксидные связующие наиболее широко применяются для получения изделия из ПКМ благодаря своим эксплуатационным характеристикам. Одним из методов получения материала заданных свойств служит модификация эпоксидного олигомера путем добавления вязкого термопласта, имеющего высокий модуль упругости, температуру плавления и одновременно низкую предрасположенность к поглощению влаги. Это приводит к улучшению механических и термических свойств, стойкости к растворителям и размерной

стабильности литых деталей. Совмещение термопластов с эпоксидами зависит от их взаимной растворимости, что в свою очередь связано со строением не только модификаторов, но и самих олигомеров. Один и тот же термопласт может быть полностью совместим с одной смолой и практически не смешиваться с другой [9].

В процессе смешения, протекающего при высоких температурах, возможно возникновение различных реакций в зависимости от химического строения компонентов. При полной совместимости термопластов с олигомером обменные процессы происходят по всему объему полимерной композиции. У несовместимых смесей – взаимодействие совершается поэтапно и зависит от химического строения, структуры, технологических и других факторов. Однако, чем лучше совместимость термопласта с реактопластом, тем ниже температура начала реакций [9-12].

В работах [1,13] уже рассматривалось совмещение эпоксидных смол с полисульфонами. Было установлено, что процесс совмещения сопровождается экстремумами на зависимости вязкости от температуры и экзотермическими тепловыми эффектами, связанными с процессами растворения термопластов в эпоксидных олигомерах, и обнаружена линейная зависимость температурного интервала растворения от количества кардовых групп в полисульфонах.

На данный момент в нашей стране, кроме термопластичных полисульфонов, производят полиарилаты, отличающиеся большей термостойкостью. Ароматические полиарилаты – это термопластичные поликонденсационные полиэферы на основе ароматических дикарбоновых кислот и ароматических двухатомных фенолов. Материалы из них обладают высокими термостойкими и износостойкими свойствами. Одним из выпускаемых в России представителей этого ряда полимеров является – кардовый полиарилат ФВ-1, полученный на основе фенолфталеина и хлорангидрида изофталевой кислоты [14].

Основной целью данной работы является исследование зависимости реокинетического и теплофизического поведения смесей эпоксидных олигомеров с ФВ-1 в процессах их совмещения реологическим методом и ДСК.

## 1. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### *Характеристика исходных веществ:*

Использовали коммерчески доступные эпоксидные смолы ЭД-20, ЭХД, ЭН-6, УП-643, полиарилат ФВ-1.

### *Методика приготовления образцов:*

Порошок ФВ-1 вводили в ЭД-20, ЭХД, ЭН-6, УП-643, предварительно нагрев смолу при температуре 80°C, перемешиванием в стеклянном стакане. Затем из полученной массы отбирались пробы для дальнейших исследований.

### *Методы анализа:*

Реологические испытания смесей проводили на реометре AR2000ex (США). Образец помещали на измерительную ячейку, термостатировали при заданной температуре около 5 минут, затем проводили измерения вязкости в динамическом режиме со скоростью нагрева 2°C/мин и постоянной скоростью сдвига 1 с<sup>-1</sup>.

Данные ДСК получали на дифференциальном сканирующем калориметре теплового потока Netzsch DSC 204 F1 при нагревании от 25 до 200°C со скоростью 5°C/мин в атмосфере азота (чистота 99,999%, скорость потока 50 мл/мин).

## 2. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Реологический метод – один из часто используемых способов исследования полимерных смесей, поскольку он позволяет отслеживать изменение состава и поведения образцов под действием наиболее распространенных внешних факторов – температуры, давления [15,16]. Сложность же состоит в том, что на результаты влияют как распределение диспергированных частиц по размерам каждого твердого компонента смеси, так и реальный состав каждого жидкого компонента. Например, в одной эпоксидной смоле могут одновременно содержаться фракции не только различного строения полимерной цепи или конфигурации, но и разной молекулярной массы.

Для наиболее полного исследования совмещения полиарилата ФВ-1 с эпоксидными смолами были выбраны представители разных видов эпоксидных смол: диановая низкомолекулярная смола ЭД-20, галогеносодержащая смола ЭХД, эпоксиноволачные смолы ЭН-6 и УП-643.

Как известно [9], термопласты взаимодействуют с эпоксидными олигомерами только за счет реакции концевых групп в макромолекулярной цепи. Этот физический процесс относится к межмолекулярным превращениям. Полимер – полимерные реакции легко обнаруживаются реологическими методами, так как они влияют на жесткость цепи [15].

Реологическое поведение смеси олигомера различных марок с порошкообразным ФВ-1 при нагреве с постоянной скоростью показано на рис.1.

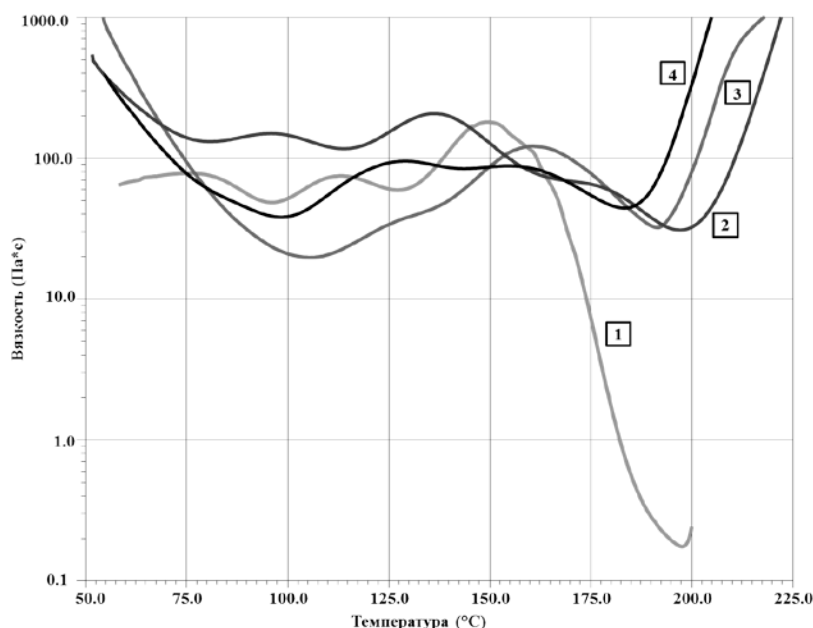


Рис.1. Зависимость вязкости смесей эпоксидных смол (1 – ЭД-20; 2 – ЭХД; 3 – ЭН-6; 4 – УП-643) с 25% масс. ФВ-1 от температуры в условиях нагрева со скоростью 2°C/мин.

На приведенных реологических кривых видно, что совмещение в смесях эпоксидный олигомер-полиарилат проходит при более высокой температуре, чем в композициях с полиарилсульфонами – в диапазоне 100-175°C. Кроме того, вместо одного наблюдаются несколько гармонических пиков при разных температурах [13].

Вероятно, отличный характер изменения вязкости каждой композиции связан как с разницей в структуре олигомеров и, соответственно, в их взаимодействии с термопластом, так и в неравномерной дисперсности порошка. Так же вывод можно сделать, что, в отличие от полиарилсульфонов, ФВ-1 в начале обменных реакций с эпоксидной смолой постепенно набухает по мере проникновения жидкой фазы в межмолекулярное пространство, которое облегчается с возрастанием температуры [17].

В то же время, разная концентрация полиарилата ФВ-1 (рис.2) увеличивает или уменьшает вязкость системы пропорционально количеству термопласта, сохраняя характер изменения графика.

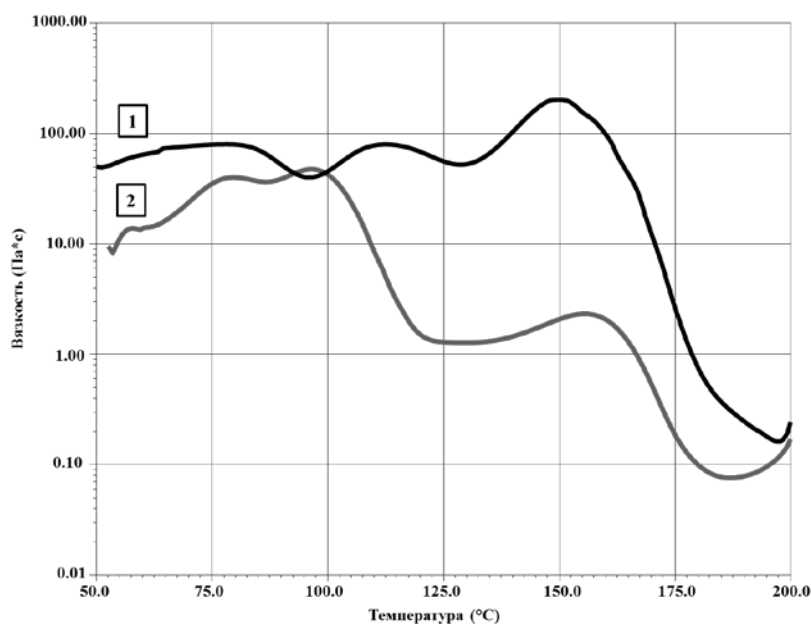


Рис.2. Зависимость вязкости смесей эпоксидное связующее ЭД-20 с полиарилатом ФВ-1 (1 – 25% и 2 – 13% масс.) от температуры в условиях нагрева со скоростью 2°C/мин.

Несмотря на то, что температура плавления чистого полиарилата ФВ-1 около 268°C, увеличение температуры выше 200°C сопровождается последующим скачкообразным ростом вязкости систем. Дополнительные исследования, не представленные в данной работе, дают возможность предположить, что подобное поведение связано с особенностью взаимодействия полиарилата ФВ-1 с эпоксидными смолами и приводит к сшивке образцов.

Наряду с реологическими характеристиками интерес представляют результаты исследования полученных композиций методом дифференциальной сканирующей калориметрии [18,19]. Этот метод позволяет регистрировать малейшие изменения, связанные с варьированием составов в полимерных смесях [9,20,21].

На рис.3 и 4 приведены кривые ДСК композиций полиарилата ФВ-1 с эпоксидными смолами. Ранее [13] предполагалось, что совмещение термопласта ПСФФ-30 с эпоксидными олигомерами сопровождается экзотермическим эффектом в диапазоне 25-140°C. Как видно на графиках, совмещение начинается при более высокой, чем у полиарилсульфона ПСФФ-30, температуре (выше 113°C в зависимости от смолы), причем при продолжающемся подъеме температуры экзотермический пик продолжает расти. Данная динамика отмечается в каждом

образце. Эти результаты показывают, что при одних и тех же условиях полиарилат взаимодействует с эпоксидными смолами иначе, чем ПСФФ-30. Рост скорости тепловыделения при увеличении температуры свидетельствует о протекании реакции в смеси. Ход кривых ДСК (рис.3, кривые 1,2) позволяет предположить, что растворение полиарилата с некоторыми эпоксидными смолами проходит на фоне развивающегося процесса взаимодействия.

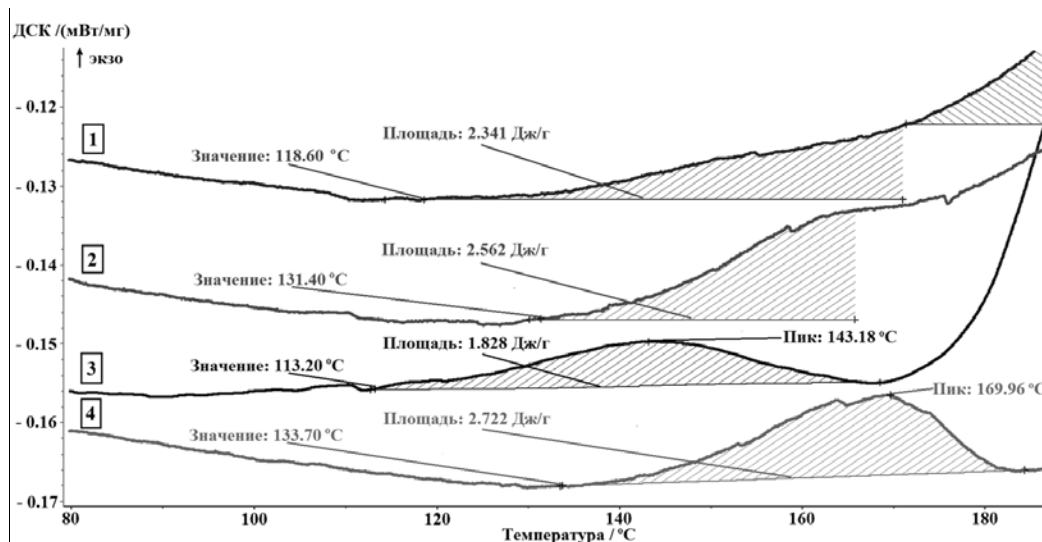


Рис.3. Кривые ДСК, полученные при совмещении 25% масс. полиарилата ФВ-1 с эпоксидным олигомером (1 – ЭХД; 2 – УП-643; 3 – ЭД-20; 4 – ЭН-6).

Как следует из рис.3, структура эпоксидных смол влияет на совмещение термопласта с олигомером. В менее вязкой смоле с более короткими макромолекулярными цепочками процесс начинается уже при 110°C (рис.3, кривая 3). В противоположном случае начало растворения смещается в сторону большей температуры около 120-135°C (рис.3, кривая 4). Соответственно смещается и экзотермический пик растворения. Очевидно, что это отражает различие в теплостойкости образующихся структур, которое, как видно на рис.1, ведет к увеличению вязкости композиции.

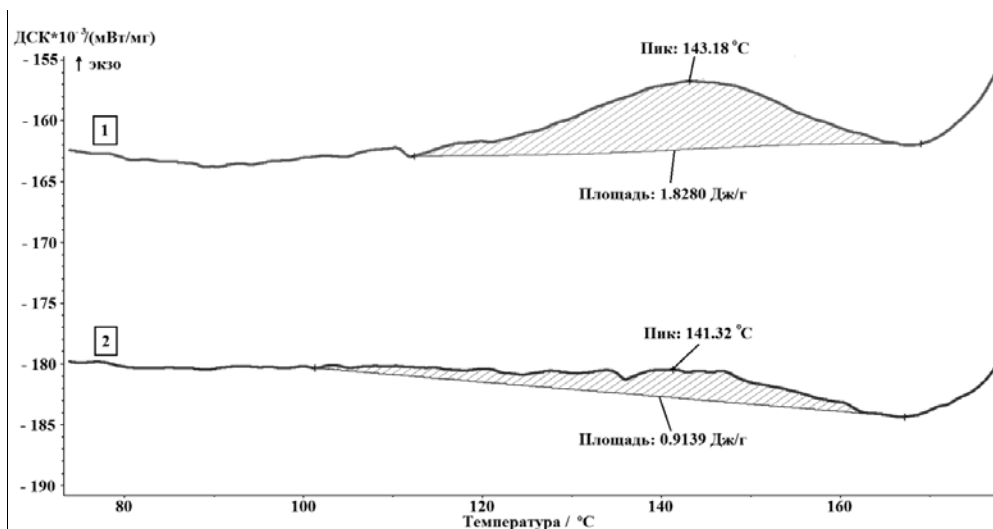


Рис.4. Кривые ДСК, полученные при совмещении полиарилата с эпоксидным олигомером ЭД-20 (1 – 25% ФВ-1 и 2 – 13% масс. ФВ-1).

Анализ ДСК-термограмм на рис.4 показывает, что концентрация термопласта прямо пропорционально влияет на тепловой эффект. Чем больше ФВ-1, тем больше тепловой эффект на графике, который коррелируется с показателями вязкости на рис.2.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реологическим методом и методом ДСК проведена оценка температурных интервалов растворения полиарилатов в эпоксидных олигомерах. По результатам исследований можно сделать вывод о том, что полиарилат совмещается с эпоксидной смолой. Однако, в отличие от полиарилсульфонов, температурный диапазон этого процесса сдвигается в область более высоких температур 100-175°C.

Если рассматривать температуру начала экзотермического растворения как показатель совместимости эпоксидного олигомера с ФВ-1, то в ряду исследованных эпоксидных смол наилучшую способность в растворении полиарилата показала смола ЭД-20, а смолы УП-643 и ЭН-6 примерно равную способность.

Установлено, что перегревать систему полиарилат – эпоксидная смола нежелательно, в связи с тем, что данный термопласт вступает во взаимодействие с эпоксидным олигомером. Предполагается, что при совмещении полиарилата с реактопластом при высоких температурах происходит множество трансреакций и побочных реакций, поэтому конечный продукт можно рассматривать, как сополимер, а не полимерную смесь. Для лучшего понимания подобного процесса требуются дополнительные исследования данного факта.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бабин А.Н., Гусева М.А. Хасков М.А., Ткачук А.И. *Исследование процесса совмещения эпоксидных олигомеров с термопластичными модификаторами* // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2016. – Т.22. – №4. – С.524-535.
2. Каблов Е.Н. *Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года»* // Авиационные материалы и технологии. – 2015. – №1(34). – С.3-33.
3. Каблов Е.Н. *Материалы нового поколения – основа инноваций, технологического лидерства и национальной безопасности России* // Интеллект и технологии. – 2016. – №2(14). – С.16-21.
4. Каблов Е.Н. *Тенденции и ориентиры инновационного развития России. Сб. информационных материалов.* – М.: ВИАМ, 2015. – 720 с.
5. Бойков Е.А., Старов В.Н., Семенова Е.В. *Управление свойствами структуры композиционных материалов* // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2012. – С.146-149.
6. Чулкова И.Л. *Структурообразование строительных композитов на основе принципа сродства структур* // Вестник СибАДИ. – 2012. – №6(28). – С.83-87.
7. Ивановский С.К., Бахаева А.Н., Жерякова К.В., Ишкуватова А.Р. *К вопросу переработки полимерных композиционных материалов* // Успехи современного естествознания. – 2014. – №12 (часть 5). – С.592-595.

8. Баурова Н.И., Зорин В.А. *Применение полимерных композиционных материалов при производстве и ремонте машин: учебное пособие.* – М.: МАДИ, 2016. – 264 с.
9. Пол Д.Р., Бакнелл К.Б. *Полимерные смеси. Т.1: Систематика.* – СПб.: Научные основы и технологии, 2009. – 618 с.
10. Сорокин А.Е., Краснов А.П., Горошков М.В., Клабукова Л.Ф., Зюзина Г.Ф. *Влияние совместимости в смесях полиарилатов на трение // Известия вузов. Химия и химическая технология.* – 2017. – Т.60. – №10. – С.58-67.
11. Zhaobin Ch., Li T., Yang Y., Liu X., Renguo Lv. *Mechanical and tribological properties of PA/PSS blends // Wear.* – 2004. – Vol.257. – Pp.696-707.
12. Brown S.B. *Reactive extrusion: A survey of chemical reactions of monomers and polymers during extrusion processing, Ch.4 / In: Reactive Extrusion, Principles and Practice.* New York: Hanser Publishers, 1992.
13. Гусева М.А., Беседнов К.Л., Хасков М.А., Ткачук А.И. *Исследование влияния природы эпоксидных олигомеров на процесс совмещения с термопластичными модификаторами // Механика композиционных материалов и конструкций.* – 2017. – Т.23. – №4. – С.567-578.
14. Сорокин А.Е., Клабукова Л.Ф., Краснов А.П., Кладовщикова О.И. *Исследование свойств опытной партии полиарилата ФВ // Успехи в химии и химической технологии.* – 2015. – Т.29. – №10. – С.65-67.
15. Малкин А.Я., Исаев А.И. *Реология: концепции, методы, приложения.* – СПб.: ЦОП «Профессия», 2010. – 560 с.
16. Бабин А.Н., Гусева М.А. *Использование реологического метода для исследования особенностей растворимости компонентов в полимерном связующем // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.* – 2016. – №6. – Ст.05. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения 24.07.2018.).
17. Бабин А.Н., Гусева М.А., Гребенева Т.А., Ткачук А.И. *Исследование реологических и структурных характеристик эпоксидных связующих, модифицированных полиизоцианатом // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.* – 2016. – №1. – Ст.11. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения 23.07.2018).
18. Menczel J.D., Prime R.B. *Thermal analysis of polymers: Fundamentals and applications.* – Wiley, 2009. – 688 p.
19. Хасков М.А., Ахмадиева К.Р., Кудрявцева А.Н., Гребенева Т.А. *Влияние фуллерена C<sub>60</sub> на кинетику отверждения терморезактивных связующих на основе эпоксидных смол // Композиты и наноструктуры.* – 2016. – Т.8. – №2. – С.120-132.
20. Хасков М.А. *Сравнительный анализ влияния природы наполнителя на самопроизвольную полимеризацию связующего в препрегах // Химические волокна.* – 2015. – №1. – С.25-33.
21. Чуцкова Е.Ю., Алексашин В.М., Баринов Д.Я., Дементьева Л.А. *Опыт применения дифференциальной сканирующей калориметрии для исследования кинетических закономерностей отверждения эпоксидного клея ВК-36Р // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.* – 2015. – №1. – Ст.12. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения 23.07.2018).



## REFERENCES

1. Babin A.N., Guseva M.A., Khaskov M.A., Tkachuk A.I. *Issledovanie protsessa sovmeshheniya ehpoksidnykh oligomerov s termoplastichnymi modifikatorami [Study of the blending of epoxy oligomers with thermoplastic modifiers process]*. Mekhanika kompozitsionnykh materialov i konstruksii, 2016, Vol.22, No.4, Pp.524-535.
2. Kablov E.N. *Innovatsionnye razrabotki FGUP «VIAM» GNTS RF po realizatsii «Strategicheskikh napravlenij razvitiya materialov i tekhnologij ikh pererabotki na period do 2030 goda» [Innovative developments of "VIAM" SRC of RF to implement the "Strategic directions of development of materials and technologies to process them for the period up to 2030]*. Aviatsionnye materialy i tekhnologii, 2015, No.1, Pp.3-33.
3. Kablov E.N. *Materialy novogo pokoleniya – osnova innovatsij, tekhnologicheskogo liderstva i natsional'noj bezopasnosti Rossii [Materials of new generation – basis of innovative technological leadership and national security of Russia]*. Intellect i tekhnologii, 2016, No.2(14), Pp.16-21.
4. Kablov E.N. *Tendentsii i orientiry innovatsionnogo razvitiya Rossii [Tendencies and reference points of innovative development of Russia]*. Sbornik informatsionnykh materialov. Moskva, VIAM, 2015, 720 p.
5. Bojkov E.A., Starov V.N., Semenova E.V. *Upravlenie svojstvami struktury kompozitsionnykh materialov [Management of properties of structure of composite materials]*. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2012, Pp.146-149.
6. Chulkova I.L. *Strukturoobrazovanie stroitel'nykh kompozitov na osnove printsipa srodstva struktur [Structure formation of building composites based on the affinity of structures]*. Vestnik SibADI, 2012, No.6(28), Pp.83-87.
7. Ivanovskij S.K., Bahaeva A.N., Zherjakova K.V., Ishkuvatova A.R. *K voprosu pererabotki polimernykh kompozitsionnykh materialov [To the question of processing polymeric composite materials]*. Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya, 2014, No.12 (chast' 5), Pp.592-595.
8. Baurova N.I., Zorin V.A. *Primenenie polimernykh kompozitsionnykh materialov pri proizvodstve i remonte mashin: uchebnoe posobie [Application of polymeric composite materials in the manufacture and repair of machines: a tutorial]*. Moskva, MADI, 2016. 264 p.
9. Pol D.R., Baknell K.B. *Polimernye smesi. [Polymeric blends]. T.1: Sistematika. Sankt-Peterburg, Nauchnye osnovy i tekhnologii, 2009, 618 p.*
10. Sorokin A.E., Krasnov A.P., Goroshkov M.V., Klabukova L.F., Zjuzina G.F. *Vliyanie sovmestimosti v smesyakh poliarilatov na trenie [The effect of compatibility in mixtures of polyarylates on friction]*. Izvestiya vuzov. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya, 2017, Vol.60, No.10, Pp.58-67.
11. Zhaobin Ch., Li T., Yang Y., Liu X., Renguo Lv. *Mechanical and tribological properties of PA/PSS blends*. Wear, 2004, Vol.257. Pp.696-707.
12. Brown S.B. *Reactive extrusion: A survey of chemical reactions of monomers and polymers during extrusion processing, Ch.4*. In: Reactive Extrusion, Principles and Practice. New York, Hanser Publishers, 1992.
13. Guseva M.A., Besednov K.L., Khaskov M.A., Tkachuk A.I. *Issledovanie vliyaniya prirody ehpoksidnykh oligomerov na protsess sovmeshheniya s termoplastichnymi modifikatorami [The study of the influence of the nature of epoxy oligomers on the*

- process of combining with thermoplastic modifiers*]. Mekhanika kompozitsionnykh materialov i konstruksii, 2017, Vol.2, No.4, Pp.567-578.
14. Sorokin A.E., Klabukova L.F., Krasnov A.P., Kladovshhikova O.I. *Issledovanie svoystv opytnoj partii poliarilata FV [Study of the properties of the pilot batch of polyarylate]*. Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii, 2015, Vol.29, No.10, Pp.65-67.
  15. Malkin A.Ja., Isaev A.I. *Reologiya: kontseptsii, metody, prilozheniya. [Rheology: concept, methods, applications]*. Sankt-Peterburg, TSOP «Professiya», 2010, 560 p.
  16. Babin A.N., Guseva M.A. *Ispol'zovanie reologicheskogo metoda dlya issledovaniya osobennostej rastvorimosti komponentov v polimernom svyazuyushhem [The use of a rheological method for studying the features of the solubility of components in a polymer binder]*. Trudy VIAM: ehlektronnyj nauchno-tekhnicheskij zhurnal, 2016, No.6, St.05. URL: <http://www.viam-works.ru>.
  17. Babin A.N., Guseva M.A., Grebeneva T.A., Tkachuk A.I. *Issledovanie reologicheskikh i strukturnykh kharakteristik ehpoksidnykh svyazuyushhikh, modifitsirovannykh poliizotsianatom [The study of the rheological and structural characteristics of epoxy binders modified with polyisocyanate]*. Trudy VIAM: ehlektronnyj nauchno-tekhnicheskij zhurnal, 2016, No.1, St.11. URL: <http://www.viam-works.ru>.
  18. Menczel J.D., Prime R.B. *Thermal analysis of polymers: Fundamentals and applications*. Wiley, 2009, 688 p.
  19. Khaskov M.A., Ahmadieva K.R., Kudrjavceva A.N., Grebeneva T.A. *Vliyanie fullerena S<sub>60</sub> na kinetiku otverzhdeniya termoreaktivnykh svyazuyushhikh na osnove ehpoksidnykh smol [The influence of fullerene C<sub>60</sub> on the kinetics of curing thermosetting binders based on epoxy resins]*. Kompozity i nanostruktury, 2016, Vol.8, No.2, Pp.120-132.
  20. Khaskov M.A. *Sravnitel'nyj analiz vliyaniya prirody napolnitelya na samoproizvol'nyuyu polimerizatsiyu svyazuyushhego v prepregakh [A comparative analysis of the influence of the nature of the filler on the spontaneous polymerization of the binder in prepregs]*. Khimicheskie volokna, 2015, No.1, Pp.25-33.
  21. Chuckova E.Ju., Aleksashin V.M., Barinov D.Ja., Dement'eva L.A. *Opyt primeneniya differentsial'noj skaniruyushhej kalorimetrii dlya issledovaniya kineticheskikh zakonomernostej otverzhdeniya ehpoksidnogo kleya VK-36R [Experience in applying differential scanning calorimetry to study the kinetic patterns of curing epoxy glue]* // Trudy VIAM: ehlektronnyj nauchno-tekhnicheskij zhurnal, 2015, No.1, St.12. URL: <http://www.viam-works.ru>.

Поступила в редакцию 01 октября 2018 года.

---

Сведения об авторах:

Гусева Марина Александровна – к.х.н., с.н.с., Лаборатория «Полимерные связующие, клеи и специальные жидкости», ГНЦ РФ ФГУП Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов, г. Москва, Россия; e-mail: [gus.mar.alex@gmail.com](mailto:gus.mar.alex@gmail.com)

Афанасьева Евгения Александровна – инж., Лаборатория «Полимерные связующие, клеи и специальные жидкости», ГНЦ РФ ФГУП Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов, г. Москва, Россия

Хасков Максим Александрович – к.х.н., в.н.с., Лаборатория «Полимерные связующие, клеи и специальные жидкости», ГНЦ РФ ФГУП Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов, г. Москва, Россия

Антюфеева Наталья Викторовна – к.т.н., с.н.с., Лаборатория «Лаборатория исследования теплофизических свойств», ГНЦ РФ ФГУП Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов, г. Москва, Россия