DOI: 10.15593/2224-9982/2020.63.06

УДК 678:658.567

Г.И. Шайдурова¹, Д.М. Орос², Н.А. Поварницына²

¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

² Научно-производственное объединение «Искра», Пермь, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ АДГЕЗИОННЫХ И ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ РЕЗИН НА ОСНОВЕ ЭТИЛЕН-ПРОПИЛЕН-ДИЕНОВЫХ С АРИМИДНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ

Армированные материалы типа наполнитель тканевый–вулканизованная резина успешно могут эксплуатироваться при условии задаваемой адгезионной прочности на границе контакта субстрат–полимер (каучук). Представлены теоретические сведения об этилен-пропиленовых и этилен-пропилен-диеновых синтетических каучуках, известных на международном уровне под маркой «ЕРДМ-мономер», арамидном волокне и методах лабораторных исследований. Преимуществами использования СКЭП и СКЭПТ при изготовлении ТЗП являются: высокая теплостойкость, низкая плотность, хорошая совместимость с наполнителями (минеральными и синтетическими), совместимость с эпоксидными и фенолформальдегидными смолами, относятся к материалам коксующего типа. Предоставлены результаты проведенных экспериментов и анализ полученных данных, а именно адгезионной прочности и теплового эффекта резин на основе СКЭПТ с арамидным наполнителем нетканой структуры. Объектом исследования являлись модифицированные теплозащитные материалы на основе СКЭПТ, а предметом исследования были выбраны резиновые смеси на основе СКЭПТ и синтетическое арамидное волокно. Для оценки физико-химических и теплофизических свойств был проведен дериватографический анализ, который включает в себя ТГА и ДТА, двух вулканизованных резинотканых образцов из резин марок 51-1615, 51-2110 совместно с арамидным волокном. Впервые были получены результаты при использовании этилен-пропилен-диеновых резин, включая модификацию фенолформальдегидной смолой, придающей более высокую эрозионную стойкость при воздействии скоростного теплового потока. Анализ результатов проведенных экспериментальных исследований показал, что применение арамидного волокна может обеспечивать более высокие прочностные и теплофизические свойства теплозащитных материалов. В целом полученные результаты могут иметь практическую значимость для опытно-конструкторских работ изделий нового поколения.

Ключевые слова: органопластиковый корпус, тепловая защита, теплозащитные покрытия, этилен-пропиленовый каучук, EPDM-мономер, адгезия, метод отрыва, арамидное волокно, ароматические полиимиды, дериватографический анализ, термический анализ, дифференциально-сканирующая калориметрия, энтальпия, тепловой эффект, композиционные материалы.

G.I. Shaidurova¹, D.M. Oros², N.A. Povarnitsyna²

¹ Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

² Research and Production Association "Iskra", Perm, Russian Federation

RESEARCH OF ADHESIVE AND HEAT-PROTECTIVE PROPERTIES OF RUBBERS BASED ON EPDM WITH ARAMID FILLER

Reinforced materials of the "fabric filler-vulcanized rubber" type may be successfully operated under the condition of the specified adhesive strength at the interface of the "substrate-polymer (rubber) "contact. The article presents theoretical information about ethylene propylene (EDM) and ethylene-propylene-diene (EPDM) synthetic rubbers, known internationally under the brand name EPDM-monomer, aramide fiber and laboratory research methods. The advantages of using EDM and EPDM in the manufacture of heat-protection coatings are; high heat resistance, low density, good compatibility with fillers (mineral and synthetic), compatibility with epoxy and phenol-formaldehyde resins, belong to coking materials. The article also provides the results of experiments and analysis of the data obtained, namely, the adhesive strength and thermal effect of rubbers based on EPDM with an aramide filler of a non-woven structure. The object of the research was modified heat-protective materials based on EPDM, and the subject of the research was selected rubber compounds based on EPDM and synthetic aramide fiber. To assess the physicochemical and thermophysical properties, a derivatographic analysis was performed, which includes TGA and DTA, two vulcanized rubber-woven samples from rubbers of grades 51-1615, 51-2110 together with aramide fiber. For the first time, results were obtained using ethylene-propylene-diene rubbers, including modification with a phenol-formaldehyde resin, which gives a higher erosion resistance when exposed to high-speed heat flow. Analysis of the results of experimental studies has shown that the use of aramide fiber can provide higher strength and thermophysical properties of heat-protective materials. In general, the results obtained may be of practical significance for the development of new-generation products.

Keywords: organoplastics body, thermal protection, heat-protective coatings, ethylene-propylene rubber, EPDM monomer, adhesion, separation method, aramide fiber, aromatic polyimides, derivatographic analysis, thermal analysis, differential scanning calorimetry, enthalpy, thermal effect, composite materials.

Создание новых изделий ракетно-космической техники сопровождается усложнением тактико-технических требований, предъявляемых к ним как в части повышения физико-механических свойств, так и в части ужесточения условий эксплуатации, связанных с ростом рабочих и экстремальных температур [1].

В процессе функционирования современных РДТТ на силовую оболочку корпуса воздействуют продукты сгорания с температурой до 3000 К и выше [2]. Для обеспечения работоспособности обычно силовая оболочка органопластиковых корпусов защищена специальными теплозащитными покрытиями расчетной толщины, а структуры слоев сформированы в обеспечение задаваемых параметров работающего изделия. Традиционно для тепловой защиты нашли широкое применение вулканизаты резин на основе этилен-пропиленовых (СКЭП) и этилен-пропилен-диеновых (СКЭПТ) синтетических каучуков, известных на международном уровне под маркой «ЕРДМ-мономер».

Этилен-пропиленовый каучук (СКЭП) представляет собой продукт совместной полимеризации этилена и пропилена в присутствии комплексного катализатора типа катализатора Циглера. Это высокоэластичный каучук. Этилен-пропиленовый каучук относится к насыщенным полимерам. Отсутствие двойных связей придает этому каучуку ряд положительных свойств, но не позволяет вулканизовать его с помощью серы [3].

Для получения полимеров, способных вулканизоваться серой, этилен и пропилен сополимеризуют с диеновым мономером, получая тройные этилен-пропиленовые каучуки (СКЭПТ).

Физические свойства этилен-пропиленовых каучуков зависят от соотношения в полимере этилена и пропилена и практически не зависят от наличия третьего мономера.

Содержание третьего мономера в полимере составляет 0,3–2 мол. %. С увеличением содержания непредельности в полимере возрастает скорость вулканизации и прочность вулканизатов. Для обеспечения возможности получения оптимальной вулканизационной структуры при серной вулканизации важно получать полимеры с равномерным распреде-

лением третьего мономера в цепи, что существенно зависит от его природы [4].

Оптимальными свойствами обладают каучуки, содержащие 45–50 % пропиленовых звеньев. Молекулярно-массовое распределение каучуков зависит от многих факторов (природы каталитической системы, растворителя, температуры полимеризации, концентрации катализатора, регулятора молекулярной массы и т.д.). С увеличением содержания этилена в каучуке увеличивается напряжение при заданном удлинении, прочность при растяжении и уменьшается относительное и остаточное удлинение [5].

Температура стеклования этилен-пропиленовых каучуков находится в пределах от –58 до –68 °С. Температура хрупкости наполненных техническим углеродом (сажей) вулканизатов ниже –75 °С.

Этилен-пропиленовые каучуки характеризуются высокими диэлектрическими показателями, которые незначительно изменяются в очень влажной среде вследствие малого поглощения воды [6].

Отличительной особенностью этилен-пропиленовых каучуков является низкая плотность, которая составляет 850–879 кг/м³ [3].

Этилен-пропиленовые каучуки растворяются в бензине, ароматических и хлорпроизводных углеводородах и не растворяются в спиртах, эфирах, кетонах. Благодаря отсутствию двойных связей эти каучуки стойки к действию различных химических реагентов и к термоокислительному старению. В тройном сополимере двойные связи находятся в боковых группах, поэтому он стоек к термоокислительной деструкции и механическим воздействиям. Также этилен-пропиленовые каучуки обладают повышенной теплостойкостью вплоть до 150 °С.

Резины на основе СКЭП и СКЭПТ отличаются высокой стойкостью к тепловому старению, причем резины на основе СКЭП более стойки к тепловому старению, чем резины на основе СКЭПТ, поскольку повышенное содержание серы в резинах на основе терполимера СКЭПТ ускоряет их старение [3].

Преимуществами использования СКЭП и СКЭПТ при изготовлении ТЗП являются: высокая теплостойкость, низкая плотность,

хорошая совместимость с наполнителями (минеральными и синтетическими), совместимость с эпоксидными и фенолформальдегидными смолами, относятся к материалам коксующего типа.

В работе [7] отмечается, что огромным преимуществом СКЭПТ по сравнению с другими каучуками является их очень широкий ассортимент и возможность получения существенно различающихся по свойствам марок на одной технологической линии. Кроме того, СКЭПТ является одним из самых дешевых эластомеров.

На их основе создан номенклатурный ряд теплозащитных резин, в том числе высоконаполненных и модифицированных синтетическими смолами.

Дальнейшее совершенствование созданных ранее рецептур полуфабрикатов теплозащитных резин сводится к попыткам введения нанотрубок, волокнистых наполнителей, минеральных добавок и газообразователей. Основная цель при этом сводится к поиску путей повышения параметра эффективности, снижения пассивной массы коксующего покрытия при обеспечении повышения эрозионной стойкости, улучшения теплофизических характеристик и снижения оставшихся толщин за счет абляции [8].

Данная статья посвящена экспериментальным исследованиям при модификации формирования теплозащитного материала эластомерных композиций на основе СКЭПТ.

На практике обычно применяют арамидные или полиамидные волокна в виде рубленых частиц или нетканых структур, как наиболее доступные, экономически целесообразные и способные обеспечить необходимый уровень технических характеристик в сочетании с полимерной матрицей из СКЭПТ [9].

Ранее была показана эффективность использования арамидных волокон и их нетканого полотна в сравнении с базовыми объектами покрытий Р-864 (асбестом хризотилowym) и АР-998 (асболовсановой тканью). Исходя из параметров физико-химических превращений, арамидное волокно (ароматический полиамид) разлагается при температуре 430 °С, а арамидное волокно характеризуется стабильностью до 800 °С. Это различие в температурах сублима-

ции послужило основой для более глубокого изучения теплозащитных материалов на основе СКЭПТ при исследовании их в присутствии арамидного волокна (полотна) в качестве термостойкого наполнителя.

Ароматические полиимиды – твердые, негорючие вещества плотностью 1,35–1,48 г/см³, находящиеся в стеклообразном состоянии. Молекулы ПИ – это симметричные, плоские циклические структуры с обычными длинами связей и валентными углами. Макромолекулы ароматических ПИ образуются соединениями арамидных группировок с другими ароматическими группировками с помощью одинарных химических связей и шарнирных атомов и групп. Следует особо подчеркнуть, что полиимиды мало изменяют свои свойства в диапазоне температур от 33 до 533 К и выдерживают кратковременный нагрев до температуры 673 К [10].

Важное значение при создании композиций любого класса имеет совместимость материалов волокна и полимерной матрицы на границе контакта. Это означает, что на границе контактирующих слоев должно быть достижение прочной адгезионно-адсорбционной связи, близкой к прочности матрицы, при условиях, обеспечивающих стабильность исходных свойств компонентов.

Резинотканевые системы как конструкционные элементы при нагружении обладают особенностями несинхронного разрушения ткани и резины. Обеспечение прочности связи между резиной и тканью является определяющей для обеспечения работоспособности и надежности эксплуатации [11].

В работе [12] указано, что материалы должны быть выбраны так, чтобы не возникало концентрации напряжений на границе между текстильным материалом и резиной. Из-за невозможности избежать концентрации напряжений на границе резина–ткань возникает необходимость обеспечить соответствующее их сцепление.

Сущность метода определения прочности связи с металлом при отрыве заключается в измерении силы, необходимой для разрушения связи между поверхностями резины, клея и металла, соединенными между собой; при этом усилие должно действовать перпен-

дикулярно поверхности соединения при испытании.

Образец для испытания представляет собой резиновый цилиндр высотой $(2,0 \pm 0,5)$ мм и $\varnothing$ $(25,0 \pm 0,1)$ мм, основания которого соединены с металлическими дисками.

За диаметр образца для испытания принимают диаметр штанцевого ножа, которым вырезают цилиндр из резиновой заготовки, за высоту – толщину резиновой заготовки.

За результат испытания принимают среднее арифметическое значение прочности связи всех испытанных образцов и далее устанавливают характер разрушения образца.

Для анализа структурных физико-химических превращений исходных компонентов, полученных полуфабрикатов резин и теплозащитных материалов на их основе используется термический анализ, дериватография, термогравиметрия, дифференциальная сканирующая калориметрия.

Термический анализ – метод исследования физико-химических и химических превращений, происходящих в веществе при программированном изменении температуры, как при нагревании, так и при охлаждении. Термический анализ производится с помощью специальной аппаратуры, и в основном его техническим результатом являются термические кривые – термограммы (кривые нагревания), которые зависят главным образом от химического состава и структуры исследуемого вещества. С помощью этого метода обнаруживают тепловую природу, эндо- или экзотермический характер и температурный интервал превращения.

Большинство физических и химических процессов, химических реакций сопровождается тепловыми эффектами, т. е. поглощением или выделением тепла, поэтому методы термического анализа применимы к очень большому числу систем. В основе всех методов термического анализа лежит наблюдение за материалом и измерение его характеристик в условиях программированного изменения температуры. Наибольший интерес для термического анализа представляет энтальпия [13].

Представляет интерес исследование и изучение результатов, получаемых методом дериватографического анализа материала при высокотемпературном разложении.

Дериватография – метод исследования химических и физико-химических процессов, происходящих в веществе в условиях изменения температурного режима. Дериватография основана на сочетании термогравиметрического анализа (ТГА) и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК).

Термогравиметрия (ТГ) – метод термического анализа, при котором регистрируется изменение массы образца в зависимости от температуры или времени при определенных контролируемых условиях (скорость нагрева, атмосфера). Если результаты взвешивания, относящиеся к отдельным температурным значениям, представить в координатах «температура – масса образца» и соединить полученные точки, то получится кривая, именуемая термогравиметрической (ТГ).

ТГ-анализ широко используется в исследовательской практике для определения температуры деградации полимеров, влажности материалов, доли органических и неорганических компонентов, входящих в состав исследуемого вещества, точки разложения взрывчатых веществ и сухого остатка растворенных веществ.

Термоанализатор состоит из высокоточных весов с тиглями, которые размещаются в камере небольшой электропечи. В непосредственной близости от образца, например под донышком тигля, находится контрольная термopара, с высокой точностью измеряющая температуру. Камера печи может заполняться инертным газом для предотвращения окисления или иных нежелательных реакций. Для управления измеряющей аппаратурой и снятия показаний используется компьютер.

Возможны два способа проведения термогравиметрического эксперимента: изотермический при постоянной температуре печи и, наиболее распространенный, динамический при изменении температуры печи во времени (обычно при постоянной скорости нагрева). В результате получают кривые зависимости изменения массы образца (термогравиметрическая кривая) либо скорости изменения массы (дифференциальная термогравиметрическая кривая) от времени или от температуры [14].

Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК) предоставляет информацию о значениях температуры и теплоты фазовых переходов (плавления, кристаллизации, стеклования), термодинамике и кинетике химических реакций, химическом составе, чистоте, термической и окислительной стабильности различных материалов и т.д. Основана на непрерывной регистрации разности теплового потока от образца и эталона или к образцу и эталону (изменение энтальпии) как функции температуры или времени при нагревании образцов в соответствии с определенной программой в заданной газовой атмосфере.

Метод ДСК позволяет измерять теплоту различных процессов: химических реакций, фазовых переходов, теплоемкость. В методе ДСК теплоту определяют через тепловой поток – производную теплоты по времени. Этот метод позволяет фиксировать так называемые кривые нагревания (или охлаждения) исследуемого образца, т.е. изменение температуры последнего во времени. В случае какого-либо фазового превращения первого рода в веществе (или смеси веществ) происходит выделение или поглощение теплоты и на кривой (термограмме) появляется площадка или изломы.

Метод широко используется для исследования химических соединений, полимерных и композитных материалов в различных отраслях науки и промышленности и является наиболее востребованным методом термического анализа [15].

Экспериментальная часть

Для модификации арамидными наполнителями были выбраны резины марок 51-1615 и 51-2110, отличающиеся физико-механическими и теплофизическими свойствами.

В процессе лабораторных исследований адгезионной прочности были изготовлены образцы-грибки по ГОСТ 209–75 согласно следующим схемам:

- 1) резина 51-1615 + арамидное волокно + резина 51-1615;
- 2) резина 51-2110 + арамидное волокно + резина 51-2110.

Арамидное волокно перед дублированием с резинами было активировано путем обработки спирто-ацетоновой смесью (при соотношении 1:1).

В табл. 1 приведены результаты механических испытаний на отрыв для образцов-грибков и определено среднее значение предела прочности при отрыве.

Таблица 1

Результаты испытаний на растяжение для образцов-грибков из резин 51-1615 и 51-2110

Параметр	51-1615 + арамидное волокно + 51-1615	51-2110 + арамидное волокно + 51-2110
Предел прочности при отрыве $\sigma_{отр}$, кгс/см ² (МПа)	6,8 (0,66)	16,5 (1,62)

Испытания проводились на испытательной машине УТС 110МК-5 при скорости подвижного захвата 50 мм/мин и температуре 23 °С.

Характер разрушения образцов смешанный: по ткани и металлу.

На рис. 1 представлен внешний вид образцов-грибков после испытания.

Согласно полученным результатам, наибольшую адгезионную прочность может обеспечить материал, состоящий из резины 51-2110 и арамидного нетканого материала.

Для оценки физико-химических и теплофизических свойств был проведен дериватографический анализ, который включает в себя ТГА и ДТА, двух вулканизованных резиноканых образцов из резин марок 51-1615, 51-2110 совместно с арамидным волокном с определением потери массы и изменения тепловых эффектов при нагреве до 800 °С (рис. 2, 3).

На рис. 4, 5 представлен внешний вид образцов после испытания, а в табл. 2 приведены полученные в процессе эксперимента данные.

Полученные результаты показывают, что тепловой эффект больше в 2 раза для образца из резины 51-2110, чем для образца из резины 51-1615. Соответственно, резина 51-2110 в процессе нагрева поглощает больше тепловой энергии, чем резина 51-1615.

Рис. 1. Внешний вид образцов-грибков после испытания:
а – резина 51-1615; б – резина 51-2110

Рис. 2. Дериватограмма образца из резины 51-1615 с арамидным волокном

Рис. 3. Дериватограмма образца из резины 51-2110 с арамидным волокном

Рис. 4. Характер разрушения образцов из резины 51-1615 и арамидного волокна

Рис. 5. Характер разрушения образцов из резины 51-2110 и арамидного волокна

Таблица 2

Теплофизические показатели образцов из резин 51-1615 и 51-2110 с арамидной тканью

Параметр	51-1615 + арамидное волокно + 51-1615	51-2110 + арамидное волокно + 51-2110
Потеря массы, %	81,2	72,7
Изменение энтальпии (тепловой эффект), Дж/г	–270,58	–530,93
Температура начала деструкции, °С	413,9	402,8

При наличии одинакового наполнителя потеря массы резины 51-2110 выше на 11 %, что вполне объяснимо отличительными особенностями от резины 51-1615 (с фенолформальдегидной смолой). Отрицательной энтальпией обладают оба материала, но деструкция наступает в более длительном режиме.

Таким образом, использование арамидного наполнителя в структуре теплозащитных покрытий является перспективным и может изменить физическую модель функционирования ТЗП в корпусах изделий типа кокон или труба.

Библиографический список

1. Бельских Г.Н., Майоров А.В. Разработка высокоэффективных теплозащитных материалов // Инновации. – 2014. – № 9 (191). – С. 118–120.
2. Фахрутдинов И.Х., Котельников А.В. Конструкция и проектирование ракетных двигателей твердого топлива. – М.: Машиностроение, 1987. – 162 с.
3. Белозеров Н.В. Технология резины. – М.: Химия, 1965 – 660 с.

4. Гармонов В.И. Синтетический каучук / под ред. И.В. Гармонова. – 2-е изд., перераб. – Л.: Химия, 1983. – 560 с.
5. Марк Дж., Эрман Б., Эйрич Ф. Каучук и резина. Наука и технология: монография: пер. с англ. – Долгопрудный: Интеллект, 2011. – 768 с.
6. Воробей В.В., Маркин В.Б. Основы технологии и проектирования корпусов ракетных двигателей. – Новосибирск: Наука, 2003. – 163 с.
7. Нурмеева Е.К. Производство и область применения этиленпропиленовых каучуков (СКЭПТ) // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – № 15. – С. 129–133.
8. Белов В.П. Тепловая защита элементов конструкции ракетных двигателей на твердом топливе: учеб. пособие / Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2010. – 52 с.
9. Бурдюгов С.И., Шайдунова Г.И. Физико-химическое исследование теплозащитных материалов на основе СКЭПТ с арамидным наполнителем // Внутрикамерные процессы и горение в установках на твердом топливе и в ствольных системах (ICOC-2014): материалы Всерос. конф., г. Санкт-Петербург, 8–10 сентября 2008 г. – СПб., 2008. – С. 297–301.
10. Жукова С.А. Структурные эффекты плазмохимической обработки тонких полиимидных пленок и покрытий в технологии устройств микросистемной техники: дис. ... канд. техн. наук / МАТИ – РГТУ им. К.Э. Циолковского. – М., 2004. – 180 с.
11. Буланов И.М., Воробей В.В. Технология ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998. – 516 с.
12. Мартин Дж.М., Смит У.К., Бхати С.Ч. Производство и применение резинотехнических изделий; под ред. В.Н. Красовского. – СПб.: Профессия, 2006. – 480 с.
13. Шаталова Т.Б., Шляхтин О.А., Веряева Е. Методы термического анализа / Москов. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова. – М., 2011. – С. 72.
14. Термический анализ. Ч. 1. Методы термического анализа / В.И. Ивлев, Н.Е. Фомин, В.А. Юдин [и др.] – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2017. – 44 с.
15. Паниковский Т.Л., Бритвин С.Н. Об использовании дифференциальной сканирующей калориметрии для исследования структурных особенностей органических и неорганических соединений / Ресурсный центр «Рентгенодифракционные методы исследования»; С.-Петерб. гос. ун-т. – СПб., 2013. – 4 с.

References

1. Belskikh G.N., Mayorov A.V. Razrabotka vysokoeffektivnykh teplozashchitnykh materialov [Development of high-performance heat-protective materials]. *Innovation*, 2014, no. 9 (191), pp. 118–120.
2. Fakhrutdinov I.Kh., Kotelnikov A.V. Konstruktsiya i proyektirovaniye raketnykh dvigateley tverdogo topliva [Construction and design of solid fuel rocket engines]. Moscow: Mashinostroyeniye, 1987, 162 p.
3. Belozеров N.V. Tekhnologiya reziny [Technology of rubber]. Moscow: Khimiya, 1965, 660 p.
4. Garmonov V.I. Sinteticheskiy kauchuk [Synthetic rubber]. Leningrad: Khimiya, 1983, 560 p.
5. Mark Dzh., Erman B., Eyrih F. Kauchuk i rezina. Nauka i tekhnologiya [Rubber and rubber. Science and technology]. Monograph. Transl. from Engl.: Scientific publication. Dolgoprudny: Publishing House "Intellekt", 2011, 768 p.
6. Vorobey V.V., Markin V.B. Osnovy Tekhnologii i proyektirovaniya korpusov raketnykh dvigateley [Fundamentals Of technology and design of rocket engine housings]. Novosibirsk: Nauka, 2003, 163 p.
7. Nurmeyeva E.K. Proizvodstvo i oblast primeneniya etilenpropilenovykh kauchukov [Production and application of ethylene propylene rubbers (EPDM)]. *Bulletin of Kazan technological University*, 2011, no. 15, pp. 129–133.
8. Belov V.P. Teplovaya zashchita elementov konstruktsii raketnykh dvigateley na tverdom toplive: uchebnoye posobiye [Thermal protection of structural elements of solid-fuel rocket engines: textbook]. Baltic state technical University. SPb., 2010, 52 p.
9. Burdyugov S.I., Shaydurova G.I. Fiziko-khimicheskiye issledovaniye teplozashchitnykh materialov na osnove SK-EPT s aramidnym napolnitelem [Physical and chemical research of heat-protective materials based on SKEPT with aramid filler]. Proceedings of the All-Russian Conference "ICOC-2014": "Vnutrikamernyye protsessy i gorenije v ustanovkakh na tverdom toplive i v stvolnykh sistemakh" (Saint Petersburg, 08–10 September 2008) pp. 297–301.
10. Zhukova S.A. Strukturnyye efekty plazmokhimicheskoy obrabotki tonkikh poliimidnykh plenok i pokrytiy v tekhnologii ustroystv mikrosistemnoy tekhniki [Structural effects of plasma-chemical processing of

thin polyimide films and coatings in the technology of Microsystem technology devices]. Diss. for the degree of candidate of technical Sciences. Moscow, "MATI" – RSTU named after K.E. Tsiolkovsky, 2004, 180 p.

11. Bulanov I.M., Vorobey V.V. Tekhnologiya raketnykh i aerokosmicheskikh konstruktsiy iz kompozitsionnykh materialov [Technology of rocket and aerospace structures made of composite materials]. Moscow: Bauman Moscow state technical University, 1998, 516 p.

12. Martin Dzh. M., Smit U.K. Proizvodstvo i primeneniye rezinotekhnicheskikh izdeliy [Production and application of rubber products]. St. Petersburg: Professiya, 2006, 480 p.

13. Shatalova T.B., Shlyakhtin O.A., Veryaeva E. Metody termicheskogo analiza [Methods of thermal analysis]. Moscow State University named after M.V. Lomonosov, 2011, 72 p.

14. Ivlev V.I., Fomin N.E., Yudin V.A. Termicheskii analiz. Ch. 1: Metody termicheskogo analiza [Thermal analysis. Part 1: Methods of thermal analysis]. Saransk: Publishing house of the Mordovia University, 2017, 44 p.

15. Panikorskiy T.L., Britvin S.N. On the use of differential scanning calorimetry to study the structural features of organic and inorganic compounds [On the use of differential scanning calorimetry to study the structural features of organic and inorganic compounds]. Resource center "x-ray Diffraction research methods", Saint Petersburg state University, 2013, 4 p.

Об авторах

Шайдунова Галина Ивановна (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры «Механика композиционных материалов и конструкций» ФГБОУ ВО ПНИПУ (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., д. 29, e-mail: sgi615@iskra.perm.ru).

Орос Дмитрий Михайлович (Пермь, Россия) – руководитель группы ПАО НПО «Искра» (614038, г. Пермь, ул. Академика Веденеева, д. 28, e-mail: OrosDmitriy@npoiskra.ru).

Поварницына Наталья Алексеевна (Пермь, Россия) – инженер-технолог ПАО НПО «Искра» (614038, г. Пермь, ул. Академика Веденеева, д. 28, e-mail: PovarnitsynaNatalya@npoiskra.ru).

About the authors

Galina I. Shaydurova (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor of Mechanics of Composite Materials and Structures Department, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: sgi615@iskra.perm.ru).

Dmitriy M. Oros (Perm, Russian Federation) – Team Leader, PJSC "Research and Production Association "Iskra" (28, Academica Vedeneeva st., Perm, 614038, Russian Federation, e-mail: OrosDmitriy@npoiskra.ru).

Natalya A. Povarnitsyna (Perm, Russian Federation) – Process Engineer, PJSC "Research and Production Association "Iskra" (28, Academica Vedeneeva st., Perm, 614038, Russian Federation, e-mail: PovarnitsynaNatalya@npoiskra.ru).

Получено 30.10.2020