

Стеклонаполненные ПКМ на основе смесей ПФС с алифатическими полиамидами

Glass filled PCM based on mixtures of PPS with aliphatic polyamides

A.T. ЭРГАШЕВ¹, A.B. САМОЯДОВ², E.B. КАЛУГИНА³

A.T. ERGASHEV¹, A.V. SAMORYADOV², E.V. KALUGINA³

¹ МИРЭА – Российский технологический университет (Институт тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова), Москва, Россия

² Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Межведомственный центр аналитических исследований в области физики, химии и биологии при Президиуме Российской академии наук, Москва, Россия

³ Общество с ограниченной ответственностью «Группа ПОЛИПЛАСТИК», Москва, Россия

¹ MIREA – Russian Technological University (M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies), Moscow, Russia

² Federal State Budgetary Institution of Science Interdepartmental Center for Analytical Research in Physics, Chemistry, and Biology under the Presidium of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

³ POLYPLASTIC Group LLC, Moscow, Russia

Kalugina@polyplastic.ru

В статье исследованы стеклонаполненные полимерные композиционные материалы на основе смесей полифениленсульфида с алифатическими полиамидами и добавкой СЭГМА. Установлено, что частичная замена ПФС на доступные полиамиды позволяет значительно снизить стоимость композитов при сохранении высокой термостойкости, хорошей технологичности и возможности регулирования прочностных свойств.

Ключевые слова: полифениленсульфид, стеклонаполненные ПКМ, полиамид, динамический ТГА, термостойкость

Glass-filled polymer composite materials based on mixtures of polyphenylene sulfide with aliphatic polyamides and the addition of ethylene-glycidyl methacrylate copolymer have been studied. It has been found that partial replacement of PPS with affordable polyamides allows for a significant reduction in the cost of composites while maintaining high heat resistance, good processability, and the ability to regulate strength properties.

Keywords: polyphenylene sulfide, glass filled PCM, polyamide, dynamic TGA, heat resistance

DOI: 10.35164/0554-2901-2025-06-14-17

Развитие высокотехнологичных отраслей промышленности (авиационной, космической, автомобильной и др.) традиционно инициирует разработку новых полимерных композиционных материалов (ПКМ) с определенными эксплуатационными характеристиками, а также расширение марочного ассортимента материалов. Требования к ПКМ для изделий спецтехники включают высокую механическую прочность, термостойкость, химическую инертность, устойчивость к радиационному и термическому старению, а также возможность переработки и формования сложных конструкций [1–7]. В этом контексте перспективными являются ПКМ на основе термопластичных матриц, в частности, полифениленсульфида (ПФС) и полиамидов (ПА).

Полифениленсульфид (ПФС) характеризуется уникальным комплексом свойств: при высокой термостойкости (доказана работоспособность изделий вплоть до 260°C) и химической стойкости, низком влагопоглощении [8, 9] полимер и ПКМ на его основе отличаются прекрасной технологичностью, что позволяет формировать тонкостенные изделия сложной конфигурации методом литья под давлением, а также трубы методом экструзии [36]. Пожалуй, единственный значимый недостаток этого полимера – отсутствие отечественного промышленного синтеза и, как следствие, высокая стоимость готового продукта. Необходимость отечественного промышленного производства ПФС регулярно обсуждается на научно-практических конференциях и в интернет-пространстве [37, 38], где приводятся реальные примеры применения ПФС в трубопроводных системах для нефтепроводов, включая соединительные элементы (фитинги, отводы и др. фасонные изделия). Поэтому целесообразно было исследовать возможность модификации ПФС различными доступными конструкционными термопластами, например, полиалкилентерефталатами и/или поли-

амидами, для снижения стоимости изделия с учетом сохранения необходимого уровня свойств.

Анализ научно-технической и патентной информации показал возможность модификации ПФС добавками указанных полимеров. Ранее мы публиковали результаты исследования стеклонаполненных ПКМ на основе смесевых матриц ПФС с ПЭТФ или ПБТ [10]. В данной статье представим результаты исследования стеклонаполненных ПКМ на основе смесей ПФС с ПА-6 и ПА-66.

Среди конструкционных пластмасс алифатические полиамиды (ПА-6, ПА-66) – наиболее доступное сырье на отечественном рынке. Они характеризуются высокой ударной прочностью, стойкостью к истиранию и отличной адгезией к наполнителям [11–13]. Авторами показано [14–16], что комбинирование ПФС с ПА в составе гибридной термопластичной матрицы позволяет улучшить механические свойства материала, сохраняя термическую и химическую стойкость [14–16].

Создание ПКМ на основе ПФС и ПА актуально для решения задач, связанных с разработкой новых материалов для авиационных и космических конструкций [17–19], а также для изготовления компонентов электротехнических устройств [20, 21]. В исследованиях [22, 23] рассматриваются тенденции развития рынка ПФС и его применение в различных отраслях промышленности, что подтверждает высокий интерес к данному материалу.

В ряде работ [24–26] отмечается, что традиционные методы переработки ПКМ, такие как экструзия и литье под давлением, позволяют получать изделия сложной геометрии, но требуют подбора оптимальных составов материалов для обеспечения их стабильности в процессе переработки. Исследования отечественных и зарубежных авторов [30–32] свидетельствуют о том, что композиционные материалы на основе ПФС обладают высокой

устойчивостью к фото- и термодеструкции, что делает их перспективными для работы в экстремальных условиях. В работах [33–35] подробно рассматриваются механизмы совместимости полимерных смесей, что позволяет прогнозировать свойства гибридных матриц.

Методом компаундирования были изготовлены ПКМ на гибридных полимерных матрицах: смесях ПФС с ПА-66 и ПА-6 в немодифицированном варианте с добавкой сополимера этилена с глицидилметакрилатом (СЭГМА), содержащие 40% (по массе) стекловолокна, следующих составов:

- 55% ПФС + 5% ПА-66;
- 35% ПФС + 15% ПА-66 + 10% СЭГМА;
- 50% ПФС + 10% ПА-6;
- 35% ПФС + 15% ПА-6 + 10% СЭГМА;
- 37,5% ПФС + 17,5% ПА-6 + 5% СЭГМА;
- 40% ПФС + 20% ПА-6.

Для изготовления композиций использовали следующие ингредиенты: ПФС линейного строения с показателем текучести расплава 480 г/10 мин (температура 320°C, нагрузка 50 Н); ПА-66 и ПА-6; рубленое стекловолокно диаметром 10 мкм. Выбор полиамидов ПА-66 и ПА-6 литьевых марок для получения смесевых полимерных матриц обусловлен их доступностью и низкой стоимостью (в 3–5 раз дешевле ПФС), а также близостью температур плавления ПА-66 (260°C) и ПА-6 (220°C) к температуре плавления ПФС (285°C), что должно обеспечить их хорошую гомогенизацию в процессе компаундирования и переработки в изделия методом литья под давлением.

Исследование термических характеристик ПКМ проводили на приборе синхронного термогравиметрического и дифференциального термического анализа (ТГА/ДТА) модели STA 449 F5 Jupiter фирмы Netzsch (Германия) при скорости нагрева 10°C/мин. Показатели термостойкости определяли методом касательных по ГОСТ Р 56721–2015 (ИСО 11358-1:2014).

Температуры фазовых и релаксационных переходов определяли методом динамического механического анализа (ДМА) на ротационном вискозиметре модели AR2000Ex фирмы TA Instruments (скорость подъема температуры 5°C/мин): на образец с частотой 1 Гц прикладывали синусоидальную деформацию, составляющую 0,03% от прочности при сдвиге материала образца.

Температуры плавления и кристаллизации определяли методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) на приборе DSC 6000 фирмы PerkinElmer (США) по ГОСТ Р 56724–2015, ч. 3.

Показатель текучести расплава полимеров и композиций измеряли в соответствии с ГОСТ 11645–2021 на пластометре Davenport MFI-9 фирмы Lloyd Instruments (США).

Определение физико-механических свойств полученных композиций осуществляли на образцах, изготовленных методом литья под давлением, по следующим методикам испытаний:

- плотность – ГОСТ 15139–69;
- модуль упругости при растяжении – ГОСТ 11262–2017;
- прочность при растяжении – ГОСТ 11262–2017;
- деформация при растяжении – ГОСТ 11262–2017;

Таблица 1. Результаты динамического ТГА на воздухе образцов стеклонаполненных ПКМ на основе смесей ПФС с ПА-66 и ПА-6.

Показатель	Соотношение компонентов в смесях					
	ПФС/ПА-66	ПФС/ПА-66/ СЭГМА	ПФС/ПА-6 50/10	ПФС/ПА-6/ СЭГМА	ПФС/ПА-6/ СЭГМА	ПФС/ПА-6
	55/5	35/15/10	50/10	35/15/10	37,5/17,5/5	40/20
Температура потери 1,0% массы	371	318	354	323	329	341
Температура потери 5,0% массы	471	400	416	392	390	403
Температура начала разложения на 1-й стадии, °С	379,08	416,14	386,69	378,35	380,16	397,66
Температура начала 2-й стадии разложения, °С	495,69	495,63	498,42	451,08	451,72	494,19
Температура начала 3-й стадии разложения, °С	613,1	585,03	612,39	493,6	494,83	548,91
Температура начала 4-й стадии разложения, °С	–	–	–	599,95	598,96	–
Коксовый остаток, %	48,4 при 700°C	41,6 при 697°C	44,49 при 700°C	40,63 при 689°C	41,33 при 688°C	41,54 при 700°C

- модуль упругости при изгибе – ГОСТ 4648–2014;
- ударная вязкость по Шарпи – ГОСТ 4647–2015;
- температура изгиба под нагрузкой – ГОСТ 12021–2017.

По данным динамического термогравиметрического анализа (скорость нагрева 10°C/мин), ПКМ на основе смесей ПФС/ПА, армированные 40 масс.% стекловолокна, демонстрируют высокие показатели термической стойкости (табл. 1, рис. 1).

По данным динамического ТГА на воздухе в композициях, содержащих более 50 масс.% ПФС, температура начала термоокислительной деструкции составляет от 416°C до 419°C. Разложение протекает в две стадии, содержание коксового остатка в интервале 650–700 °С составляет до 48%, что соответствует содержанию стекловолокна и продуктов пиролиза ПФС.

Добавление полиамида в матрицу приводит к снижению термостойкости композита. Для образцов с высоким содержанием ПА-66 и ПА-6 температура начала разложения смещается в низкотемпературную область – до 378–386 °С. Наиболее выраженное снижение термостойкости наблюдается в композициях, содержащих модификатор СЭГМА, что вполне объяснимо для полиолефинов. Температура, соответствующая 1% массовых потерь модифицированных ПКМ, составляет от 318°C до 329°C. На кривой ТГА проявляется дополнительная стадия разложения, относящаяся к деструкции СЭГМА (первая стадия), вторая стадия – деструкция ПА и, наконец, ПФС. Коксовый остаток в количестве 41,0–45,0 масс.% состоит из СВ и продуктов пиролиза ПФС.

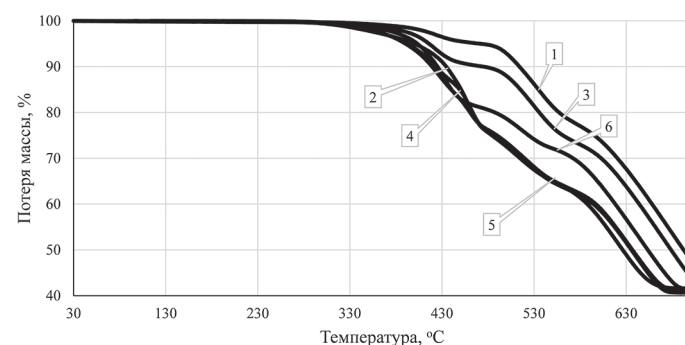


Рис. 1. Динамический ТГА образцов стеклонаполненных ПКМ (СВ 40%) на основе смесей ПФС, ПА66 и ПА6:

- 1 – ПФС/ПА66 (55/5); 2 – ПФС/ПА66/СЭГМА (35/15/10);
- 3 – ПФС/ПА6 (50/10); 4 – ПФС/ПА6/СЭГМА (35/15/10);
- 5 – ПФС/ПА6/СЭГМА (37,5/17,5/5); 6 – ПФС/ПА6 (40/20).

Прежде чем оценивать эксплуатационные характеристики стеклонаполненных ПКМ на гибридных матрицах, целесообразно сравнить основные показатели для стеклонаполненных ПКМ на основе базовых полимеров. В табл. 2 представлены технические характеристики стеклонаполненных ПКМ (СВ 40%) на базе ПА-6, ПА-66, ПФС в немодифицированном варианте и с добавкой модификатора СЭГМА.

Полученные результаты показывают, что все исследованные ПКМ имеют вполне сравнимый уровень прочностных свойств и различаются исключительно термостойкостью. Введение модификатора снижает прочностные показатели примерно на 15%. В табл. 3

Таблица 2. Свойства ПКМ СВ-40 на основе ПА-6, ПА-66 и ПФС.

Показатели	Соотношение компонентов в смесях					
	ПА-66/ СЭГМА (55/5)	ПА-66 (60)	ПА-6/СЭГМА (55/5)	ПА-6(60)	ПФС СВ-40	ПФС СВ-40 УП
Плотность, г/см ³	1,46	1,48	1,45	1,45	1,65	1,60
Прочность при разрыве, МПа	197	220	188	185	200	185
Модуль упругости при растяжении, ГПа	13,11	13,73	12,22	12,07	15,7	13,2
Относительное удлинение при разрыве, %	2,8	2,7	3,7	3,6	1,9	1,9
Прочность при изгибе, МПа	225	249	220	265	260	240
Модуль упругости при изгибе, ГПа	12,35	13,14	11,58	12,04	14,1	12,6
Содержание СВ по зольности, %	41,37	40,40	40,55	39,02	40,3	41,3
ПТР, г/10 мин (275°C/2,16 кгс)	5,23	16,70	–	–	–	–
ПТР, г/10 мин (250°C/2,16 кгс)	–	–	6,01	7,67	–	–
ПТР, г/10 мин (310°C/5 кгс)	–	–	–	–	63	51

Таблица 3. Свойства стеклонаполненных смесевых ПКМ (40% СВ).

Показатели	Соотношение компонентов в смесях							
	ПФС/ ПА-66	ПФС/ПА66/ СЭГМА	ПФС/ ПА-6	ПФС/ПА-6/ СЭГМА	ПФС/ПА6/ СЭГМА	ПФС/ ПА6	ПФС СВ-40	ПФС СВ-40 УП
	55/5	35/15/10	50/10	35/15/10	35/20/5	40/20	–	–
Плотность, г/см ³	1,64	1,51	1,63	1,51	1,57	1,60	1,65	1,60
Модуль упругости при растяжении, ГПа	15,72	11,50	15,87	12,38	14,50	16,09	15,7	13,2
Относительное удлинение при разрыве, %	1,1	1,2	0,9	1,4	1,2	1,2	1,9	1,9
Прочность при изгибе, МПа	209	187	196	198	205	228	260	240
Модуль упругости при изгибе, ГПа	15,21	12,63	15,56	12,41	14,12	15,78	14,1	12,6
Содержание СВ по зольности, %	40,41	41,13	40,86	39,84	41,87	41,68	40,3	41,3
ПТР, г/10 мин (300°C/2,16 кгс)	21,4	–	21,82	–	1,54	15,7	–	–
ПТР, г/10 мин (300°C/5 кгс)	–	–	–	2,20	–	–	–	–
ПТР, г/10 мин (300°C/10,0 кгс)	–	4,57	–	–	–	–	–	–
ПТР, г/10 мин (310°C/5 кгс)	–	–	–	–	–	–	63	51

представлены результаты оценки физико-механических свойств стеклонаполненных ПКМ на основе смесевых полимерных матриц в сравнении со стеклонаполненным ПФС СВ-40.

Все исследованные ПКМ характеризуются хорошей технологичностью при изготовлении деталей методом литья под давлением, судя по величине ПТР.

Анализ полученных результатов показывает, что добавление к ПФС ПА-6 или ПА-66 практически не влияет на модули при изгибе и растяжении стеклонаполненных ПКМ. Варьируя содержание компонентов в рецептуре полимерной матрицы, можно получить нужные значения показателей прочностных свойств. При введении модификатора прочностные характеристики снижаются. При этом наблюдается увеличение показателя ударной вязкости: например, ударная вязкость немодифицированного ПФС СВ-40 составляет 53,0 кДж/м², а для образцов модифицированной рецептуры ПФС СВ-40УП ударная вязкость равна 63,0 кДж/м². Точно такое же влияние модификатор СЭГМА оказывает на свойства всех вариантов смесевых рецептур.

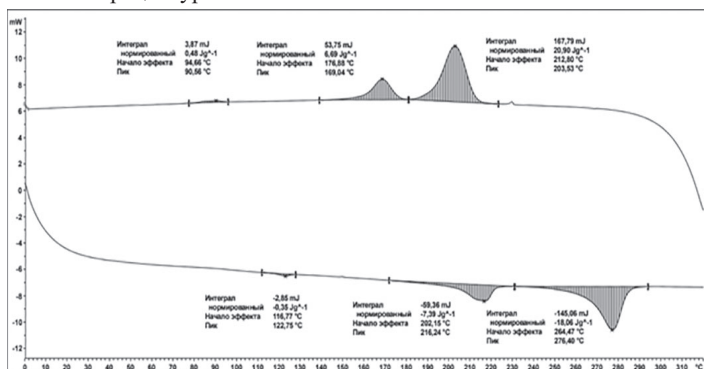


Рис. 2. Термограмма ДСК стеклонаполненного ПКМ (40 масс.% СВ) ПФС/ПА6/СЭГМА (35/15/10).

Анализ результатов ДСК исследованных ПКМ показывает наличие тепловых эффектов для всех полимерных компонентов при нагреве и охлаждении, хорошо разделенных друг от друга в температурном поле. В качестве примера на рис. 2 приведена термограмма стеклонаполненного ПКМ ПФС/ПА-6/СЭГМА (35/15/10);

температуры 100, 216 и 277°C соответствуют плавлению СЭГМА, ПА-6 и ПФС, а кристаллизации этих полимеров соответствуют пики при 90, 169 и 203°C.

Никаких заметных смещений температур плавления или кристаллизации в температурном поле какого-либо из компонентов рецептуры не обнаружено. ПКМ представляют собой гетерогенные смеси.

Как видно из данных динамического механического анализа, на ДМА-кривых ПКМ на основе смесей ПФС/ПА в области от +50°C до +220°C зафиксированы максимумы в диапазоне температур от 100°C до 130°C (рис. 3), связанные с изменением молекулярной подвижности.

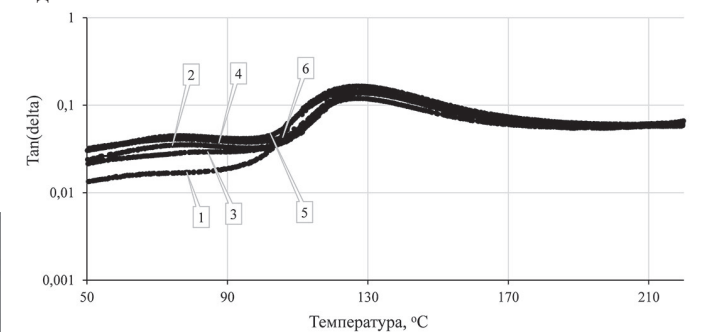


Рис. 3. Кривые динамического механического анализа образцов стеклонаполненного ПКМ (40 масс.% СВ) на основе ПФС, ПА6 и ПА66: 1 – ПФС/ПА66 (55/5); 2 – ПФС/ПА66/СЭГМА (35/15/10); 3 – ПФС/ПА6 (50/10); 4 – ПФС/ПА6/СЭГМА (35/15/10); 5 – ПФС/ПА6/СЭГМА (37,5/17,5/5); 6 – ПФС/ПА6 (40/20).

Тест на горючесть по показателю «кислородный индекс (КИ)» показал его значение для ПФС СВ-40 47%, при разбавлении алифатическими полиамидами КИ снижается до 30%.

В результате проведенных исследований методами ТГА/ДТА, ДСК, ДМА и физико-механических испытаний установлено, что стеклонаполненные ПКМ на основе гибридных полимерных матриц, включающих полифениленсульфид и алифатические полиамиды, характеризуются технологическими свойствами и огнестойкостью на уровне стеклонаполненных ПФС. При этом, варьируя соотношение ПФС/ПА, можно получать ПКМ с необходимым уровнем прочностных характеристик, что позволяет потенци-

альным потребителям осуществить выбор ПКМ, соответствующий их требованиям под конкретное изделие.

Литература

1. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. №S. С. 7–17. EDN: PFTMWB.
2. Каблов Е.Н. Из чего сделать будущее? Материалы нового поколения, технологии их создания и переработки – основа инноваций // *Крылья Родины*. 2016. №5. С. 8–18. EDN: WMCYQN.
3. Каблов Е.Н. Материалы нового поколения и цифровые технологии их переработки // *Вестник Российской академии наук*. 2020. Т. 90. №4. С. 331–334. DOI: 10.31857/S0869587320040052.
4. Славин А.В., Донецкий К.И., Хрульков А.В. Перспективы применения полимерных композиционных материалов в авиационных конструкциях в 2025–2035 гг. (обзор) // *Труды ВИАМ*. 2022. №11 (117). Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 10.12.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-11-81-92.
5. Киринов Б.С., Кузнецова К.Р., Петрова Г.Н., Сорокин А.Е. Сравнительный анализ свойств полиэфирэфиркетонов отечественного и зарубежного производства // *Труды ВИАМ*. 2018. №5 (65). Ст. 05. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 15.01.2012). DOI: 10.18577/2307-6046-2018-0-5-34-43.
6. Сатдинов Р.А., Вешкин Е.А., Постнов В.И., Стрельников С.В. Воздуховоды низкого давления из ПКМ в летательных аппаратах // *Труды ВИАМ*. 2016. №8 (44). Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 06.10.2015). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-8-8-8.
7. Гончаров В.А., Тимошкоч П.Н., Усачева М.Н. Перспективы производства крупногабаритных авиационных деталей из полимерных композиционных материалов (обзор) // *Труды ВИАМ*. 2021. №12 (106). Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 05.07.2020). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-12-55-62.
8. Михайлин Ю.А. Специальные полимерные композиционные материалы. СПб.: Научные основы и технологии, 2009. 660 с. ISBN 978-5-91703-011-1.
9. Вешкин Е.А., Сатдинов Р.А., Баранников А.А. Современные материалы для салона самолета // *Труды ВИАМ*. 2021. №9 (103). Ст. 04. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 15.07.2020). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-9-33-42.
10. Саморядов А.В., Паршиков Ю.Г., Калугина Е.В., Эргашев А.Т., Усенко Е. С. Исследование свойств модифицированного стеклонаполненного полифениленсульфида // *Конструкции из композиционных материалов*. 2025. №4. С. 23–29.
11. Вешкин Е.А., Сатдинов Р.А., Постнов В.И., Стрельников С.В. Современные полимерные материалы для изготовления элементов системы кондиционирования воздуха в летательных аппаратах // *Труды ВИАМ*. 2017. №12 (60). Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 14.02.2015). DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-12-6-6.
12. Иванов М.С., Сагомонова В.А., Морозова В.С. Отечественный термопластичный углепластик на основе полиэфирэфиркетона // *Труды ВИАМ*. 2022. №12 (118). Ст. 05. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 11.06.2020). DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-12-49-62.
13. Хрульков А.В., Караваев Р.Ю., Городилова Н.А., Донецкий К.И. Некоторые причины образования пор в полимерных композиционных материалах (обзор) // *Труды ВИАМ*. 2023. №6 (124). Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 14.06.2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-6-72-86.
14. Петрова Г.Н., Бейдер Э.Я. Конструкционные материалы на основе армированных термопластов // *Российский химический журнал*. 2010. Т. LIV. №1. С. 30–40. EDN: MBSGAX.
15. Петрова Г.Н., Бейдер Э.Я., Старостина И.В. Литьевые термопласты для изделий авиационной техники // *Все материалы*. Энциклопедический справочник. 2016. №6. С. 10–15. EDN: WFBTWP.
16. Петрова Г.Н., Ларионов С.А., Платонов М.М., Перфилова Д.Н. Термопластичные материалы нового поколения для авиации // *Авиационные материалы и технологии*. 2017. №S. С. 420–436. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-420-436.
17. Саморядов А.В., Усенко Е.С. Высокотермостойкие композиционные материалы ТЕРМОРАН для изделий аэрокосмической техники // *IV Всерос. науч.-техн. конф. «Материалы и технологии нового поколения для перспективных изделий авиационной и космической техники»*. М.: ВИАМ, 2019. С. 164–177. [Электронный ресурс] URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 14.06.2022).
18. Мажирин П.Ю. Полифениленсульфид в авиационной промышленности // *Полимерные материалы*. 2003. №2. С. 22–25.
19. Михайлин Ю.А. Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы. СПб.: Профессия, 2006. 624 с. ISBN 5-93913-104-2.
20. Тенденции рынка полифениленсульфида в мире и России // *Евразийский химический рынок*. 2013. №10 (109). С. 24–30. URL: <https://chemmarket.info/ru/home/article/3404> (дата обращения 15.10.2025).
21. Дженни Бикша. Использование композитных материалов в оборонной промышленности и аэрокосмической индустрии // *Вестник электроники*. 2014. №1 (47). С. 24–27. DOI: 10.24412/2500-1000-2024-10-5-7-10.
22. Жукова И. Суперконструкционный полимер полифениленсульфид, сравнение областей его применения в России и мире // *Презентация доклада. Интерпластика-2017*. Москва, 24–27 января 2017. URL: [www://plastinfo.ru](http://plastinfo.ru) (дата обращения: 05.12.2016).
23. Применение термопластиков в аэрокосмической промышленности // *Carbon Studio*. URL: <https://tech.carbonstudio.ru/product/termoplastiki/tekhnicheskaya-informaciya/specializirovannyy-instrument> (дата обращения: 11.05.2016).
24. Петрова Г.Н., Ларионов С.А., Сорокин А.Е., Сапего Ю.А. Современные способы переработки термопластов // *Труды ВИАМ*. 2017. №11 (59). Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 18.01.2016). DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-11-7-7.
25. Саморядов А.В., Калугина Е.В., Битт В.В. Стеклонаполненные полифениленсульфиды ТЕРМОРАН: физико-механические и термические свойства // *Пластические массы*. 2019. №7–8. С. 52–56. DOI: 10.35164/0554-2901-2019-7-8-52-56.
26. Саморядов А.В., Калугина Е.В., Битт В.В. Стеклонаполненные полифениленсульфиды ТЕРМОРАН: переработка и применение // *Пластические массы*. 2020. №3–4. С. 42–45. DOI: 10.35164/0554-2901-2020-3-4-42-45.
27. Саморядов А.В., Иванов В.Б., Калугина Е.В. Стеклонаполненные полифениленсульфиды ТЕРМОРАН™: термическая и климатическая устойчивость // *Пластические массы*. 2020. №5–6. С. 8–11. DOI: 10.35164/0554-2901-2020-5-6-8-11.
28. Samoryadov A.V., Ivanov V.B., Kalugina E.V. Bulk Properties and Application of Glass Fiber-Filled Polyphenylene Sulfides // *Russian Journal of General Chemistry*. 2021. Vol. 91, N.12. P. 2685–2698. DOI: 10.1134/S1070363221120446.
29. Иванов В.Б., Солина Е.В., Саморядов А.В. Влияние условий облучения на фотодеструкцию ударопрочного композита на основе полифениленсульфида // *Все материалы*. Энциклопедический справочник. 2019. №11. С. 32–37. DOI: 10.31044 / 1994-6260-2019-0-11-32-37.
30. Ivanov V.B., Solina E.V., Samoryadov A.V. The Effect of Irradiation Conditions on Photodegradation of a Shockproof Polyphenylene Sulfide-Based Composite // *Polymer Science. Series D*. 2020. Vol. 13, N3. P. 353–357. DOI: 10.1134/1995421220030089.
31. Ivanov V.B., Solina E.V., Kalugina E.V., Samoryadov A.V. The Effect of the Modifier Content on Photodegradation and Photooxidation of Polyphenylene Sulfide-Based Composites // *Russian Journal of General Chemistry*. 2022. Vol. 92, N3. P. 53–59. DOI: 10.1134/S1070363221130387.
32. Щеглов П.А., Самсонов Д.А., Павленков А.Б., Сидоров Ю.М., Саморядов А.В. Применение инновационных полимерных композиционных материалов на основе полифениленсульфида в конструкции устройств электропитания // *Пластические массы*. 2023. №3–4. С. 39–43. DOI: 10.35164/0554-2901-2023-3-4-39-43.
33. Кулезнев В.Н. Смеси полимеров. М.: Химия, 1980. 304 с. ISBN 978-5-91703-033-3
34. Пол Д., Бакнелл К. Полимерные смеси. М.: Научные основы и технологии, 2009. 1224 с. ISBN: 978-5-91703-006-7.
35. Кулезнев В.Н. Смеси и сплавы полимеров: конспект лекций. СПб.: Научные основы и технологии, 2013. 216 с. ISBN: 978-5-91703-033-3.
36. Rong Luo, Xinyu Zhao. Polyarylene sulfide for oil and gas flowlines. Pat. US9758674B2, March 14, 2013.
37. Основные свойства полифениленсульфида ПФС [электронный ресурс]. URL: <https://www.olenta.ru/blog/superkonstrukcionnui-polimer/> ?ysclid=mgus7688e5933597861. (дата обращения 17.10.2025).
38. Чапенко И.Н. Полифениленсульфид (ПФС) вместо металлов [электронный ресурс]. URL: https://polyprof.ru/blogs/Blog_Igor_Tsapenko/polifenilensulfid-pfs-vmesto-metallov.php?ysclid=mgusdn1cma65470125. (дата обращения 17.10.2025).