

УДК 661.718.5

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОРГАНОСИЛОКСАНОВЫХ СТРУКТУР ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ, УСТОЙЧИВЫХ К ВАКУУМНОМУ УЛЬТРАФИОЛЕТУ

**Павленко З.В., Денисова Л.В., Матюхин П.В., Иваницкий Д.А.**

*ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»,  
Белгород, e-mail: natalipv13@mail.ru*

В статье представлен анализ материалов, применяемых для синтеза терморегулирующих покрытий. Представлены основные недостатки и достоинства известных полимерных композитов, используемых в качестве терморегулирующих покрытий в космических кораблях. Показано, что актуальным является направление по разработке терморегулирующих покрытий на основе полимеров и органосилоксановых структур. Работа посвящена анализу воздействия вакуумного ультрафиолета, как одного из самых опасных факторов космоса, на композиционный полимерный материал. Проведено исследование по оценке поверхностных свойств полученного материала до и после обработки вакуумным ультрафиолетом. Представлены спектры отражения композита в диапазоне длин волн от 240 до 800 нм до и после обработки вакуумным ультрафиолетом. Показана высокая стойкость разработанного материала к условиям, максимально приближенным к околоземному космическому пространству: глубокий вакуум, вакуумный ультрафиолет с длиной волны  $\lambda = 90 \dots 115$  нм, интенсивность  $0,5 \text{ Вт/м}^2$ .

**Ключевые слова:** терморегулирующие покрытия, вакуумный ультрафиолет, длина волны, интенсивность, факторы космоса

## USE ORGANO-SILOXANE STRUCTURE TO OBTAIN MATERIALS RESISTANT TO THE VACUUM ULTRAVIOLET

**Pavlenko Z.V., Denisova L.V., Matyuhin P.V., Ivanitsky D.A.**

*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod,  
e-mail: natalipv13@mail.ru*

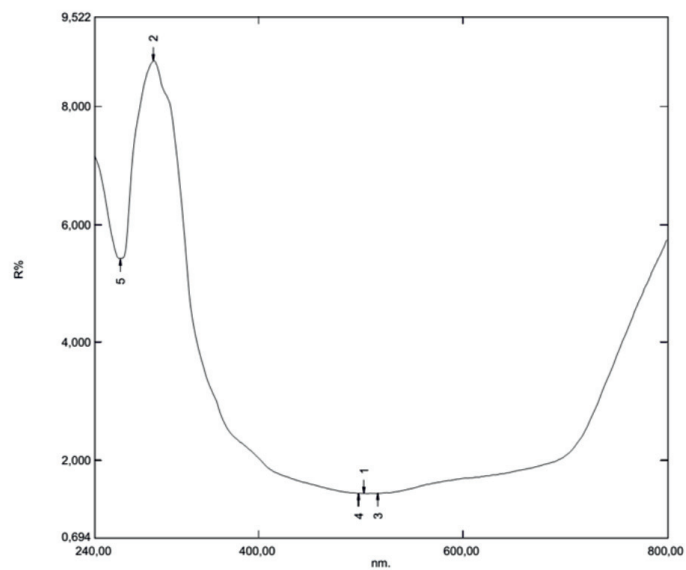
The article presents an analysis of the materials used for the synthesis of thermostatic coatings. The main advantages and disadvantages of the known polymer composites used as thermostatic coatings in spacecraft. It is shown that the current is the direction for the development of thermostatic coatings based on polymers and organosiloxane structures. The paper analyzes the effects of vacuum ultraviolet, as one of the most dangerous factors of space for composite polymeric material. A study to evaluate the surface properties of the material obtained before and after treatment vacuum ultraviolet. Shows the reflection spectra of the composite in the wavelength range from 240 to 800 nm before and after treatment with vacuum ultraviolet light. The high resistance of the material developed in conditions as close to the near-Earth space: high vacuum, vacuum ultraviolet light with a wavelength  $\lambda = 90 \dots 115$  nm, the intensity of  $0,5 \text{ W/m}^2$ .

**Keywords:** thermal control coating, vacuum ultraviolet, wavelength, intensity, factors of space

Для обеспечения перегрева и охлаждения радиоэлектронной аппаратуры в космосе применяют терморегулирующие покрытия. Они должны эффективно отражать Солнечное излучение в широком диапазоне длин волн, обладать высокой радиационной стойкостью к ионизирующим излучениям и термической стойкостью, как к отрицательным, так и к повышенным температурам космоса. Наиболее актуальной является проблема создания материалов, устойчивых к вакуумному ультрафиолету в условиях космического пространства. Известно, что под действием вакуумного ультрафиолета в полимерах и материалах на их основе происходит фотохимическая деструкция, в том числе разрыв химических связей или их сшивка [3, 4, 16, 17, 18, 26]. Все это приводит к потере первоначальных поверхностных свойств полимера, особенно необходимых для терморегулирующих

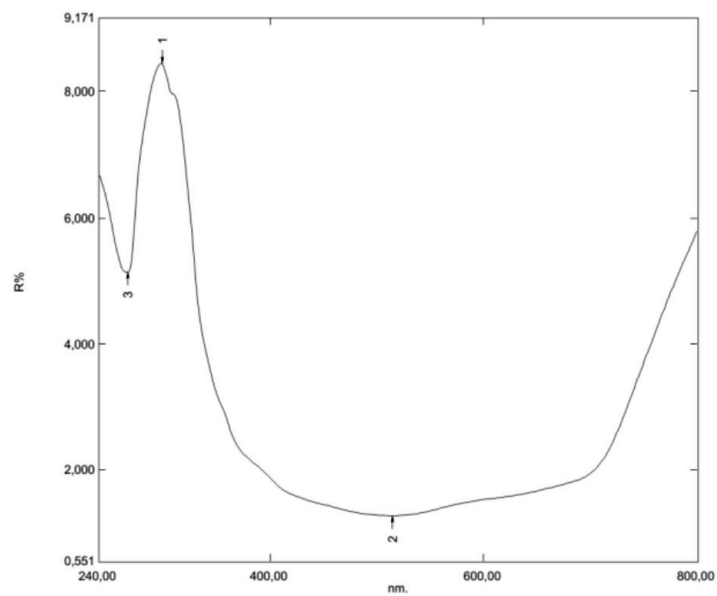
покрытий [15, 19, 30]. Таким образом, перспективным направлением является разработка радиационно-стойких и радиационно-защитных материалов, которые обладают хорошими конструктивными свойствами и высокой устойчивостью к вакуумному ультрафиолету.

Ранее для терморегулирующих покрытий применялись чистые полимеры (полиимид, полистирол, полиметилметакрилат и др.). Однако, под воздействием атомарного кислорода, присутствующего в большом количестве в космосе, происходила деструкция поверхностного слоя материала, вызванная большим уносом массы [5, 6, 12, 24, 29]. Поэтому для защиты от атомарного кислорода и вакуумного ультрафиолета стали применять радиационно-защитные материалы на основе порошков оксидов металлов, внедряя их в полимерную матрицу.



No.	P/V	Wavelength	R%	Description
1	↑	503,50	1,439	
2	↑	297,50	8,786	
3	↓	516,50	1,432	
4	↓	498,00	1,435	
5	↓	265,00	5,421	

a



No.	P/V	Wavelength	R%	Description
1	↑	299,00	8,453	
2	↓	515,00	1,270	
3	↓	267,50	5,135	

б

Спектры отражения разработанного композита: а – до облучения; б – после облучения ВУФ

Основной недостаток известных полимерных композитов, используемых в качестве терморегулирующих покрытий в космических кораблях, это сравнительно низкие физико-механические характеристики, недостаточно высокие радиационно-защитные свойства и радиационная стойкость при резких перепадах температур (от  $-150^{\circ}\text{C}$  до  $+150^{\circ}\text{C}$ ), а также высокое газовыделение в вакууме [7, 11, 22, 27, 28]. Кроме того, газовыделение полимеров в вакууме приводит к тому, что образующиеся при этом летучие конденсирующиеся вещества загрязняют поверхность микросхем, электронную бортовую аппаратуру, солнечные батареи и др. немаловажные элементы космического корабля.

В данной работе представлены данные по использованию органосилоксановых структур для получения материалов, устойчивых к вакуумному ультрафиолету. Применение обычного оксида кремния в композитах нежелательно, так как он обладает повышенным газовыделением в вакууме, а органосилоксановые структуры мало этому подвержены [1, 8, 9, 10, 2, 20, 21]. Кроме того, использование кремнийсодержащих элементов позволяет получить материалы, обладающие стойкостью к атомарному кислороду, так как при взаимодействии атомарного кислорода с элементарным кремнием создается прочное соединение, не подвергающееся дальнейшему разрушению [13, 14, 25, 32].

#### Цель исследования

Исследовать возможность применения органосилоксановых структур для получения материалов, устойчивых к вакуумному ультрафиолету. Провести анализ стойкости материала к вакуумному ультрафиолету в зависимости от содержания наполнителя, дать оценку изменения поверхностного слоя композита до и после облучения.

#### Материалы и методы исследования

Для синтеза композитов использовали в качестве матрицы – фторопласт-4 по ГОСТ 10007-80. В качестве наполнителя использовали органосилоксановый полимер-полиметилсилоксан. Устойчивость к вакуумному ультрафиолету (ВУФ) исследовали с помощью специализированной установки в условиях, максимально приближенных к околоземному космическому пространству: глубокий вакуум, вакуумный ультрафиолет с длиной волны  $\lambda = 90 \dots 115$  нм, интенсивность  $0,5 \text{ Вт/м}^2$ . Облучение в камере проводили в течение 24 часов.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Синтезированный композит с максимально возможным содержанием напол-

нителя подвергли облучению вакуумному ультрафиолету. До и после облучения были сняты спектры отражения композита в диапазоне длин волн от 240 до 800 нм.

Спектр отражения до и после облучения ВУФ представлен на рисунке. Воздействие ВУФ уменьшает коэффициенты отражения разработанного полимерного композита во всем диапазоне длин волн (рисунок).

Из рисунка видно, что после воздействия ВУФ-облучения форма спектральной кривой аналогична кривой, полученной до облучения. Однако график отражения после воздействия ВУФ-облучения располагается чуть ниже графика отражения композита, снятого до облучения, т.е. снижается интенсивность отраженного света в данном диапазоне длин волн. Это хорошо видно в исследуемых точках 297,5 (точка 2 до облучения) соответствует 299,0 (точка 1 после облучения). Однако расхождения слишком малы и не превышают 2%, что говорит об устойчивости разработанного композита к вакуумному облучению.

#### Заключение

В работе представлена возможность использования органосилоксановых структур для получения материалов, устойчивых к вакуумному ультрафиолету. Для синтеза композитов использовали в качестве матрицы – фторопласт-4 по ГОСТ 10007-80, а качестве наполнителя использовали органосилоксановый полимер-полиметилсилоксан.

Проведено исследование по оценке поверхностных свойств полученного материала до и после обработки вакуумным ультрафиолетом. Представлены спектры отражения композита в диапазоне длин волн от 240 до 800 нм до и после обработки вакуумным ультрафиолетом. Показана высокая стойкость разработанного материала к условиям, максимально приближенным к околоземному космическому пространству: глубокий вакуум, вакуумный ультрафиолет с длиной волны  $\lambda = 90 \dots 115$  нм, интенсивность  $0,5 \text{ Вт/м}^2$ .

*Работа выполнена при поддержке проектной части Государственного задания Минобрнауки РФ, проект № 11.2034.2014/К.*

#### Список литературы

1. Матюхин П.В. Жаропрочный радиационно-защитный композиционный материал конструкционного назначения / П.В. Матюхин, В.И. Павленко, Р.Н. Ястребинский, Н.И. Черкашина, В.А. Дороганов, Е.И. Евтушенко // Огнеупоры и техническая керамика. – 2014. – № 10. – С. 32–36.
2. Матюхин П.В. Термостойкие радиационно-защитные композиционные материалы, эксплуатируемые при высоких температурах / П.В. Матюхин, В.И. Павленко,

- Р.Н. Ястребинский, В.А. Дороганов, Н.И. Черкашина, Е.И. Евтушенко // Огнеупоры и техническая керамика. – 2014. – № 7–8. – С. 23–25.
3. Павленко В.И. Влияние вакуумного ультрафиолета на микро- и наноструктуру поверхности модифицированных полистирольных композитов / В.И. Павленко, Г.Г. Бондаренко, Н.И. Черкашина, О.Д. Едаменко // Перспективные материалы. – 2013. – № 3. – С. 14–19.
4. Павленко В.И. Влияние вакуумного ультрафиолета на поверхностные свойства высоконаполненных композитов / В.И. Павленко, В.Т. Заболотный, Н.И. Черкашина, О.Д. Едаменко // Физика и химия обработки материалов. – 2013. – № 2. – С. 19–24.
5. Павленко В.И. Влияние содержания кремнийорганического наполнителя на физико-механические и поверхностные свойства полимерных композитов / В.И. Павленко, Н.И. Черкашина, В.В. Сухорослова, Ю.М. Бондаренко // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6. – С. 95.
6. Павленко В.И. Дефектность кристаллов модифицированного гидроксида титана, подвергнутого термической обработке / В.И. Павленко, О.В. Куприева, Н.И. Черкашина, Р.Н. Ястребинский // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2015. – Т. 58, № 5. – С. 125–129.
7. Павленко В.И. Изучение коэффициентов ослабления фотонного и нейтронного пучков при прохождении через гидрид титана / В.И. Павленко, О.Д. Едаменко, Н.И. Черкашина, О.В. Куприева, А.В. Носков // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2015. – № 6. – С. 21.
8. Павленко В.И. Модифицирование поверхности гидроксида титана боросиликатом натрия / В.И. Павленко, Г.Г. Бондаренко, О.В. Куприева, Р.Н. Ястребинский, Н.И. Черкашина // Перспективные материалы. – 2014. – № 6. – С. 19–24.
9. Павленко В.И. Радиационно-защитный композиционный материал на основе полистирольной матрицы / В.И. Павленко, О.Д. Едаменко, Р.Н. Ястребинский, Н.И. Черкашина // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2011. – № 3. – С. 113–116.
10. Павленко В.И. Расчет ионизационных и радиационных энергетических потерь быстрых электронов в полистирольном композите / В.И. Павленко, Г.Г. Бондаренко, Н.И. Черкашина // Перспективные материалы. – 2015. – № 8. – С. 5–11.
11. Павленко В.И. Повышение эффективности антикоррозийной обработки ядерного энергетического оборудования путем пассивации в алюминийсодержащих растворах / В.И. Павленко, В.В. Прозоров, Л.Л. Лебедев, Ю.И. Слепонец, Н.И. Черкашина // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2013. – Т. 56, № 4. – С. 67–70.
12. Павленко В.И. Экспериментальное и физико-математическое моделирование воздействия набегающего потока атомарного кислорода на высоконаполненные полимерные композиты / В.И. Павленко, Л.С. Новиков, Г.Г. Бондаренко, В.Н. Черник, А.И. Гайдар, Н.И. Черкашина, О.Д. Едаменко // Перспективные материалы. – 2012. – № 4. – С. 92–98.
13. Павленко В.И. Эффективный способ получения термостойкого кристаллического нанопорошка вольфрама свинца для жаростойких радиационно-защитных материалов / В.И. Павленко, Р.Н. Ястребинский, В.А. Дороганов, И.В. Соколенко, Н.И. Черкашина, Е.И. Евтушенко // Огнеупоры и техническая керамика. – 2014. – № 7–8. – С. 32–36.
14. Павленко В.И. Явления электризации диэлектрического полимерного композита под действием потока высокоэнергетических протонов / В.И. Павленко, А.И. Акишин, О.Д. Едаменко, Р.Н. Ястребинский, Д.Г. Тарасов, Н.И. Черкашина // Известия Самарского научного центра РАН. – 2010. – Т. 12, № 4–3. – С. 677–681.
15. Павленко В.И. Суммарные потери энергии релятивистского электрона при прохождении через полимерный композиционный материал / Павленко В.И., Едаменко О.Д., Черкашина Н.И., Носков А.В. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2014. – № 4. – С. 101–106.
16. Черкашина Н.И. Воздействие вакуумного ультрафиолета и кислородной плазмы на структуру и устойчивость полистирольного композита с органосилоксановым наполнителем: диссертация ... кандидата технических наук. – Белгород, 2013.
17. Черкашина Н.И. Исследование влияния вакуумного ультрафиолета на морфологию поверхности нанонаполненных полимерных композиционных материалов в условиях, приближенных к условиям околоземного космического пространства / Черкашина Н.И., Павленко В.И., Едаменко А.С., Матюхин П.В. // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6. – С. 130.
18. Черкашина Н.И. Воздействие вакуумного ультрафиолета на полимерные нанокompозиты // Инновационные материалы и технологии (XX научные чтения): Материалы Межд. научно-практич. конференции. – 2010. – С. 246–249.
19. Черкашина Н.И. Моделирование воздействия космического излучения на полимерные композиты с применением программного комплекса GEANT4 // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 3. – С. 122.
20. Черкашина Н.И. Перспективы создания радиационно-защитных полимерных композитов для космической техники в Белгородской области / Н.И. Черкашина Н.И., В.И. Павленко / Белгородская область: прошлое, настоящее, будущее. Материалы областной научно-практической конференции в 3-х частях. – 2011. – С. 192–196.
21. Черкашина Н.И. Разработка наноструктурированных вяжущих на основе местного сырья Белгородской области для штукатурных растворов // В сборнике: Материалы I Международной научно-практической конференции «Проблемы строительного производства и управления недвижимостью». – Кемерово, 2010. – С. 67–70.
22. Черкашина Н.И. Синтез высокодисперсного гидрофобного наполнителя для полимерных матриц / Н.И. Черкашина, А.А. Карнаухов, А.В. Бурков, В.В. Сухорослова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2013. – № 6. – С. 156–159.
23. Ястребинский Р.Н. Модифицированные железоокисные системы – эффективные сорбенты радионуклидов / Р.Н. Ястребинский, В.И. Павленко, Г.Г. Бондаренко, А.В. Ястребинская, Н.И. Черкашина // Перспективные материалы. – 2013. – № 5. – С. 39–43.
24. Ястребинский Р.Н. Структурно-фазовая характеристика боросиликатного покрытия // Р.Н. Ястребинский, О.В. Куприева, Н.И. Черкашина // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2014. – Т. 57, № 9. – С. 20–23.
25. Matyukhin P.V. The high-energy radiation effect on the modified iron-containing composite material / P.V. Matyukhin, V.I. Pavlenko, R.N. Yastrebinsky, N.I. Cherkashina // Middle East Journal of Scientific Research. – 2013. – Т. 17, № 9. – P. 1343–1349.
26. Pavlenko V.I. Effect of vacuum ultraviolet on the surface properties of high-filled polymer composites / V.I. Pavlenko, N.I. Cherkashina, O.D. Edamenko, V.T. Zabolotny // Inorganic Materials: Applied Research. – 2014. – Т. 5, № 3. – P. 219–223.
27. Pavlenko V.I. Modification of titanium hydride surface with sodium borosilicate / V.I. Pavlenko, O.V. Kuprieva, R.N. Yastrebinskii, N.I. Cherkashina, G.G. Bondarenko // Inorganic Materials: Applied Research. – 2014. – Т. 5, № 5. – P. 494–497.
28. Pavlenko V.I. Total energy losses of relativistic electrons passing through a polymer composite / V.I. Pavlenko, O.D. Edamenko, N.I. Cherkashina, A.V. Noskov // Journal of Surface Investigation: X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques. – 2014. – Т. 8, № 2. – P. 398–403.
29. Pavlenko V.I. Using the high-dispersity  $[\alpha]\text{-Al}_2\text{O}_3$  as a filler for polymer matrices, resistant against the atomic oxygen / V.I. Pavlenko, N.I. Cherkashina, A.V. Yastrebinskaya, P.V. Matyukhin, O.V. Kuprieva // World Applied Sciences Journal. – 2013. – Т. 25, № 12. – P. 1740–1746.
30. Pavlenko V.I. Study of the attenuation coefficients of photon and neutron beams passing through titanium hydride / V.I. Pavlenko, O.D. Edamenko, N.I. Cherkashina, O.V. Kuprieva, A.V. Noskov // Journal of Surface Investigation: X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques. – 2015. – Т. 9, № 3. – P. 546–549.
31. Slyusar' O.A. Effect of additives on dispersed system structure formation / O.A. Slyusar', R.N. Yastrebinskii, N.I. Cherkashina, V.A. Dorogov, A.V. Yastrebinskaya // Refractories and Industrial Ceramics. – 2015.
32. Yastrebinsky R.N. Modifying the surface of iron-oxide minerals with organic and inorganic modifiers / R.N. Yastrebinsky, V.I. Pavlenko, P.V. Matyukhin, N.I. Cherkashina, O.V. Kuprieva // Middle East Journal of Scientific Research. – 2013. – Т. 18, № 10. – P. 1455–1462.