

DOI: 10.12737/22264

Черкашина Н.И., канд. техн. наук, доц.,  
Павленко З.В., канд. техн. наук, доц.,  
Ястребинская А.В., канд. техн. наук, доц.,  
Толыпина Н.М., канд. техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ДЕГРАДАЦИЯ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИАЛКАНИМИДА ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ЭЛЕКТРОНАМИ\*

natalipv13@mail.ru

В статье рассмотрены вопросы влияния электронного облучения на образцы из полиалканимида при обычной температуре. Облучение образцов флюенсом электронов  $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$  с энергией 150 кэВ осуществляли в вакууме при давлении не более  $10^{-4}$  Па. В работе представлены спектры диффузного отражения в солнечном диапазоне (0,22– 2,1 мкм) до и после облучения образцов электронами в ускоренных режимах. Показано уменьшение значений спектров диффузного отражения полиалканимида, которое приводит к увеличению коэффициента поглощения. После облучения образца полиалканимида электронами при обычной температуре интегральный коэффициент поглощения увеличился на 4,5 % с 0,452 до 0,472. Увеличение интегрального коэффициента поглощения для полиалканимида после облучения электронами при обычной температуре не превышает допустимых значений, что удовлетворяет нормативным условиям. Установлена целесообразность использования полиалканимида в качестве матрицы для создания полимерных композитов терморегулирующего назначения.

**Ключевые слова:** электронное облучение, ускоренный режим, спектры диффузного отражения, терморегуляция.

**Введение.** Воздействие такого фактора космического пространства (ФКП), как электронное облучение на терморегулирующие покрытия (ТРП) приводит к изменению диффузного отражения ( $\Delta\tau$ ) и интегрального коэффициента поглощения солнечного излучения ( $\alpha_S$ ), что может вызвать преждевременную деградацию систем пассивного терморегулирования космического летательного аппарата [1–3].

До настоящего времени прогнозирование работоспособности терморегулирующих покрытий осуществляют по изменению рабочей характеристики–интегрального коэффициента поглощения солнечного излучения ( $\alpha_S$ ), который в наземных испытаниях определяется по спектрам диффузного отражения ( $\tau_\lambda$ ) в солнечном диапазоне (0,22 - 2,1 мкм) до и после облучения образцов электронами в ускоренных режимах [4–9].

В данной работе представлены исследования по изменению интегрального коэффициента поглощения солнечного излучения ( $\alpha_S$ ) полиалканимида, как одного из наиболее перспективных полимеров, которые могут использоваться в качестве матрицы для создания полимерных композиционных материалов терморегулирующего назначения [10–11].

**Методология.** Спектры диффузного отражения ( $\tau_\lambda$ ) регистрировали спектрофотометром UV-3600 с шагом 10 нм. Облучение исследуемого полимера проводилось на «Установке для технологических и специальных испытаний ди-

электриков высокоэнергетическим электронным излучением», расположенной в аккредитованном в «ВНИИФТРИ» (г. Москва) Центре «Радиационного мониторинга» в БГТУ им. В.Г. Шухова (аттестат аккредитации № САРК RU.0001.443195) (г. Белгород) [12].

Облучение образцов флюенсом электронов  $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$  с энергией 150 кэВ осуществляли в вакууме при давлении не более  $10^{-4}$  Па (время облучения 72 ч, коэффициент ускорения 10, что соответствует 720 ч облучения в космосе на геостационарной орбите при интенсивности излучения  $2 \cdot 10^7 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ ) [13–15].

После облучения электронами с заданным флюенсом анализировали следующие величины: абсолютные значения коэффициентов отражения при фиксированной длине волны ( $\tau_\lambda$ ), разность величин коэффициентов отражения ( $\Delta\tau_\lambda$ ), получаемые вычитанием коэффициентов отражения до облучения ( $\tau_{\lambda\text{обл}}$ ) из коэффициентов отражения после облучения ( $\tau_{\lambda 0}$ ):  $\Delta\tau_\lambda = \tau_{\lambda 0} - \tau_{\lambda\text{обл}}$ . Кроме того, анализировали зависимость изменения интегрального коэффициента поглощения  $\Delta\alpha_S$  от содержания наполнителя в композите и условий облучения.

**Основная часть.** Спектр диффузного отражения для чистого полиалканимида до и после облучения электронами с флюенсом  $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$  представлен на рисунке 1. Анализ рисунка 1 показал, что воздействие электронного облучения незначительно, но все

же уменьшает спектры диффузного отражения полиалканимид в длин волн от 240 до 1800 нм.

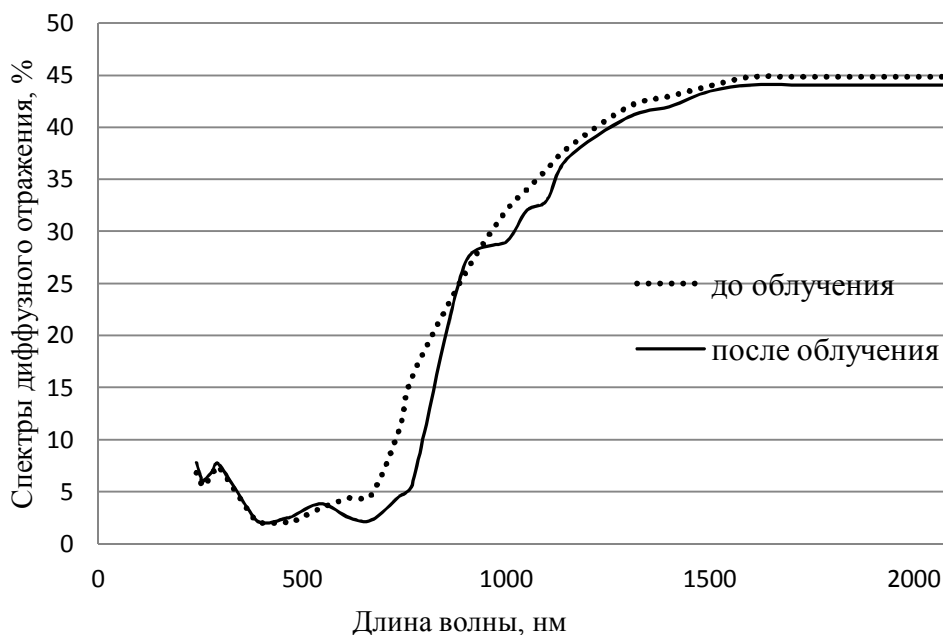


Рис. 1. Кривые спектров диффузного отражения для чистого полиалканимида до и после облучения электронами с флюенсом  $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$

На рисунке 2 представлена кривая разностных спектров диффузного отражения полиалканимидного образца после облучения электронами и до облучения. График на рисунке 2 постро-

ен по точкам, получаемым вычитанием коэффициентов отражения до облучения ( $r_{\lambda 0}$ ) из коэффициентов отражения после облучения ( $r_{\lambda \text{обл}}$ ):  $\Delta r_{\lambda} = r_{\lambda 0} - r_{\lambda \text{обл}}$ .



Рис. 2. Кривая зависимости разностных спектров диффузного отражения полиалканимида облучения электронами от длины волны

Из данных, представленных на рисунке 2 заметно, кривые спектров диффузного отражения полиалканимида до и после облучения электронами образца полиалканимида аналогичны. Установлено, что кривая спектров отражения после облучения электронами располагается ниже, нежели график спектров снятый до облучения. Можно сделать вывод, что после облучения электронами снижается интенсивность отраженного света.

Анализ разностных спектров диффузного отражения полиалканимида (рис. 2) показал, что

коэффициент отражения незначительно увеличивается в диапазоне 240...550 нм длин волн (что соответствует отрицательным значениям разностных спектров). Максимальное увеличение коэффициента отражения на 0,96 %, по сравнению с исходным, наблюдается при длине волны 240 нм. После 550 нм величина коэффициента отражения начинает уменьшаться, в основном в УФ- и видимой областях спектра, (максимальные изменения не превышают значения в 10,3 %). В ближней ИК-области после ва-

куумной обработки изменения не превышают 3 % после воздействия электронов.

Уменьшение значений спектров диффузного отражения приведет к увеличению коэффициента поглощения  $\alpha_s$ , поскольку исследуемый композит является непрозрачным материалом, для таких материалов выполняется соотношение:

$$\alpha_s = 1 - R_s \quad (1)$$

Интегральный коэффициент поглощения  $\alpha_s$  – основную характеристику терморегулирующих покрытий (ТРП), вычисляли исходя из величин коэффициентов отражения по формуле:

$$\alpha_s = 1 - R_s = 1 - \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} J_{\lambda} r d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} J_{\lambda} d\lambda} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n r_{\lambda i}}{n} \quad (2)$$

где  $R_s$  – интегральный коэффициент отражения солнечного излучения  $\gamma_{\lambda}$ – значение коэффициента отражения полиалканимидного композита при длине волны  $\lambda$ ;  $n$  – число равноэнергетических участков солнечного спектра ( $n=24$ ).

**Выводы.** Арбитражный критерий стойкости к воздействию корпускулярного ионизирующего излучения (в том числе и потока электронов) для терморегулирующих покрытий в космическом пространстве состоит в увеличении интегрального коэффициента поглощения не более, чем на 25 %. После облучения образца полиалканимида электронами при обычной температуре интегральный коэффициент поглощения увеличился на 4,5 % с 0,452 до 0,472. Увеличение интегрального коэффициента поглощения для полиалканимида после облучения электронами при обычной температуре не превышает допустимых значений, что удовлетворяет нормативным условиям. Таким образом, целесообразно использовать полиалканимид в качестве матрицы для создания полимерных композитов терморегулирующего назначения.

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

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Акишин А.И. Космическое материаловедение. Методическое и учебное пособие. М: НИИЯФ МГУ, 2007. 209 с.
2. Киселева Л.В., Страполова В.Н., Токарь С.В., Просвириков В.М., Костюк В.И. Исследование новых ТРП класса «Истинный поглотитель» // Перспективные материалы. 2011. № 11. С. 376–382.
3. Шамаев А.М. Прогнозирование изменения оптических характеристик терморегулирующих покрытий в процессе эксплуатации КА // В сборнике: Инновационные аспекты социально-экономического развития региона, сборник статей по материалам участников V ежегодной научной конференции (аспирантов ФТА). 2014. С. 612–621.
4. Михайлов М.М., Нецименко В.В., Скрипка Н.Г., Хохлов Р.Н. Оптические свойства и радиационная стойкость порошков диоксида циркония, модифицированных редкоземельными элементами // Перспективные материалы. 2010. № 3. С. 14–22.
5. Михайлов М.М., Лапин А.Н., Андриец С.П., Дедов Н.В. Спектры диффузионного отражения и их изменение при облучении электронами микро-, модифицированных и нанопорошков оксида алюминия // Известия высших учебных заведений. Физика. 2009. Т. 52. № 10. С. 32–37.
6. Михайлов М.М., Соколовский А.Н. Радиационная стойкость пигментов ZnO, легированных пероксидом калия // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2006. № 5. С. 72–78.
7. Михайлов М.М., Соколовский А.Н. Исследование радиационной стойкости покрытий на основе диоксида титана с добавками нанопорошков  $Al_2O_3$  и  $ZrO_2$  // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2006. № 8. С. 79–85.
8. Михайлов М.М. О возможности повышения радиационной стойкости порошков  $TiO_2$  (рутил) прогревом в кислороде // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2007. № 7. С. 102–106.
9. Михайлов М.М. О возможности повышения радиационной стойкости порошков  $TiO_2$  при УФ-облучении на воздухе // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2007. № 10. С. 68–72.
10. Калугина Е.В., Гумаргалиева К.З., Заиков Г.Е. Полиалканимиды: монография, Издательство: Научные основы и технологии, Санкт-Петербург, 2008. 262 с.
11. Волошинов Е.Б. Вязкоупругое поведение полиалканимида в широком интервале температур // В сборнике: Материалы 65-ой Международной научно-технической конференции Ассоциации автомобильных инженеров (ААИ) Приоритеты развития отечественного автотракторостроения и подготовки инженерных и научных кадров, Международного научного симпозиума "Автотракторостроение - 2009", 2009. С. 1–5.
12. Сухорослова В.В. Установка для специальных испытаний диэлектриков высокоэнергетическим электронным излучением // Международный научно-исследовательский журнал. 2014. № 9 (28). С. 53–54.

13. Панасюк М.И. Релятивистские электроны в космосе // Земля и Вселенная. 2013. № 6. С. 15–19.

14. Новиков Л.С. Радиационные воздействия на материалы космических аппаратов: учебное пособие. Москва: Университетская книга, 2010. 192 с.

15. Безродных И.П., Тютнев А.П., Семёнов В.Т. Радиационные эффекты в космосе. Часть 2. Воздействие космической радиации на электротехнические материалы. Москва: АО «Корпорация «ВНИИЭМ», 2016. 122 с.

---

**Cherkashina N.I., Pavlenko Z.V., Yastrebinskaya A.V., Tolyipina N.M.**

**THE DEGRADATION OF THE OPTICAL CHARACTERISTICS OF POLYALKYLIMIDE WHEN IRRADIATED BY ELECTRONS**

*The article discusses the effect of electron irradiation on the samples of polyalkylimide at normal temperatures. Irradiation of the samples the electron fluence of  $5 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  with energy of 150 Kev were carried out in vacuum at a pressure of not more than  $10^{-4}$  PA. The paper presents spectra of diffuse reflectance in the solar range ( $0,22 - 2,1 \mu\text{m}$ ) before and after irradiation of samples by accelerated electrons in modes. Shows the decrease in the values of the spectra of diffuse reflection of polyalkylimide, which leads to increase absorption coefficient. After irradiation of the sample polyalkylimide electrons at normal temperatures the integrated absorption coefficient increased by 4,5 % 0,452 to 0,472. The increase in the integral absorption coefficient for polyalkylimide after irradiation by electrons at ordinary temperature does not exceed the permissible values that satisfy the statutory conditions. The expediency of use of polyalkylimide as a matrix for creating polymer composites thermoregulatory purposes.*

**Key words:** *electron irradiation, the Overdrive mode, diffuse reflectance spectra, thermoregulation.*

---

**Черкашина Наталья Игоревна**, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной химии.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: natalipv13@mail.ru

**Павленко Зоя Владимировна**, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии стекла и керамики.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: zoia.pavlenko@yandex.ru

**Ястребинская Анна Викторовна**, кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: karanna1@mail.ru

**Тольпина Наталья Максимовна**, кандидат технических наук, доцент кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: d.oleg-19953@mail.ru