

## СЕКЦИЯ 4. ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА 3D-ПЕЧАТНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ КОСМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

В.А. Климёнов, В.А. Юркина

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: klimenov@tpu.ru

### AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF GAMMA RADIATION ON 3D PRINTED COMPOSITE MATERIALS FOR IN-SPACE MANUFACTURING PURPOSES

V.A. Klimenov, V.A. Yurkina

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050  
E-mail: klimenov@tpu.ru

*Annotation. This work investigation of the effects of gamma radiation on 3d printed composite materials for in-space manufacturing purposes. Commercial PEEK pellets (polyetheretherketone) filled with fiberglass were used for three-dimensional printing of samples. The gamma radiation dose of the samples was 150 kGy. Testing samples were manufactured using Fused Deposition Modeling (FDM) on an experimental TPU 3D printer.*

В настоящее время применение аддитивных технологий для космического материаловедения набирает все большую популярность. Методом аддитивных технологий был разработан и реализован первый отечественный корпус малого космического аппарата – «Томск-ТПУ-120» [1]. Данного рода спутники предназначены для получения многочисленных данных о состоянии космического пространства, отработки элементов связи между спутниками, осуществления съёмки земли из космоса и т.п. [2]. Поэтому, очень важен материал, из которого изготовлен спутник, ведь устойчивость в среде эксплуатации позволит продлить срок службы данных аппаратов. Кроме того, изготовление спутника аддитивными методами позволит существенно снизить затраты на материалы и стоимость выпуска корпуса на орбиту, в сравнении с подобными, изготовленными традиционными методами.

В условиях космоса космические аппараты, подвергаются воздействиям высоких температур, магнитных волн, вибрационным нагрузкам, радиации [3]. Под действием радиационного излучения в полимерах происходят реакции, которые приводят к процессам старения материала. Процесс старения под действием излучения вызывается из-за возникновений точечных дефектов в кристаллической решетке.

Экспериментальные исследования влияния гамма-излучения на образцы, полученные 3D-печатью проводили авторы [4, 5], которые показали, что полилактид (PLA) способен к эксплуатации при накопленной дозе до 100 кГр, а акрилбутадиенстирол (ABS) до 1000 кГр, поэтому существует необходимость исследования влияние гамма-излучения на разрабатываемые высокотемпературные пластики и напечатанные из них изделия.

В качестве материала для исследования влияния гамма-излучения был выбран высокотемпературный полимерный композиционный материал на основе полиэфирэфиркетона (ПЕЕК), наполненный 30% рубленым стекловолокном.

Выполнили цифровую 3D-модель стандартных образцов для проведения физико-механических испытаний согласно ГОСТ 11262-2017 (ISO 527-2:2012), ГОСТ 4648-2014 (ISO 178:2010). Для трехмерной печати использован 3D – принтер, разработанный в НИ «Томском политехническом университете», научно-производственной лабораторией «Современные производственные технологии» ИШНПТ.

Испытания воздействия облучения проводились с помощью импульсного электронного ускорителя АСТРА-М. Показатели при импульсном электронном облучении: зарядное напряжение 2400 В, количество импульсов 1 имп/с, диаметр обработки: 50 мм, доза облучения 150 кГр.

Физико-механические испытания полученных образцов проводились с помощью разрывной машины Gotech AI-7000M.

Результаты физико-механических испытаний представлены на рисунках 1 и 2. Полученные результаты показали, что прочностные свойства образцов после влияния космических факторов незначительны.

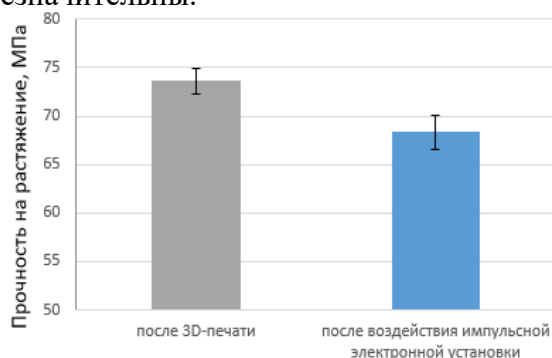


Рис. 1. Результаты исследования образцов на растяжение

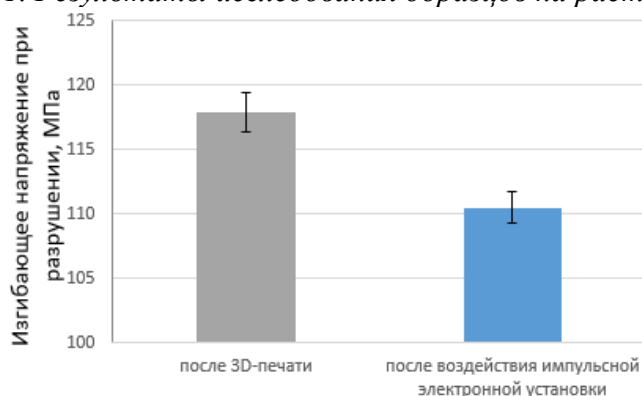


Рис. 2. Результаты исследования образцов на статический изгиб

В ходе исследования были обнаружены лишь незначительные изменения свойств материала. Данный материал, может применяться для космических аппаратов с малым сроком службы без учета старения. Поведение материала при более длительном воздействии космических факторов требует дальнейшего изучения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Derusova D. A. et al Nondestructive Testing of CubSatSatellite Body Using Laser Vibrometry //Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2019. – vol. 55. – no. 5. – Pp. 418–425.
2. Петрукович А.А., Никифоров О.В. Малые спутники для космических исследований// Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. – 2016. – Т. 3. – № 4. – С. 22–31.
3. Kutz M. Applied Plastics Engineering Handbook: Processing, Materials and Applications. Second Edition. – Norwich: William Andrew, 2017. – 784 p.

4. West C. et al Effects of gamma irradiation upon the mechanical and chemical properties of 3d-printed samples of polylactic acid //Journal of Manufacturing Science and Engineering. – 2019. – vol. 141. – no. 4. – Article number 041002.
5. Rankouhi B. et al An experimental investigation of the effects of gamma radiation on 3d printed abs for in-space manufacturing purposes //ASME 2016 International Mechanical Engineering Congress and Exposition. – 2016.– vol.1.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КАРБАРИЛА  
НА МОДИФИЦИРОВАННОМ УГЛЕРОДНЫМИ ЧЕРНИЛАМИ ЭЛЕКТРОДЕ  
МЕТОДОМ АНОДНОЙ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИИ**

Е.И. Короткова, Е.В. Дорожко, А.С. Гашевская, Е.В. Михеева  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: eikor@tpu.ru

**RESEARCH OF THE ELECTROCHEMICAL PROPERTIES OF CARBARYL  
ON A MODIFIED CARBON INK ELECTRODE BY ANODE VOLTAMMETRY  
METHOD**

E.I. Korotkova, E.V. Dorozhko, A.S. Gashevskaya, E.V. Mikheeva  
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050  
E-mail: eikor@tpu.ru

***Annotation.** The method of anodic voltammetry for the determination of carbaryl in model media was first proposed. The use of an electrode modified with carbon ink as an indicator allows to increase the detection sensitivity. This method will be used for the quantitative analysis of food and drinking water for the content of carbaryl.*

Мониторинг остатков пестицидов в пищевых продуктах, питьевой воде и почве представляет собой один из наиболее важных шагов по минимизации потенциальных опасностей для жизни человека. Высокоэффективными инсектицидами, обладающими широким спектром действия являются карбаматы. Значение ПДК карбаматов, установленных регулирующими органами, варьируются от 0,01 до 10 мг/кг [1]. Для обнаружения такого низкого содержания необходимо разработка высокочувствительных методов определения. В настоящее время для определения карбаматов, в основном, используют хроматографические методы [2]. Определение карбаматов высокочувствительным, экспрессным и недорогим электрохимическим методом представляет практический интерес [3–5]. Целью работы являлось исследование электрохимических свойств карбаматов на модифицированных угольными чернилами электродах методом анодной вольтамперометрии.

Для исследования карбаматов в качестве модельного соединения выбран карбарил, представляющий собой  $\alpha$ -нафтиловый эфир N-метилкарбаминовой кислоты. Исследованы электрохимические свойства карбарила методом анодной вольтамперометрии на модифицированном углеродными чернилами электроде.

В качестве индикаторного электрода использовался графитовый импрегнированный электрод, полученный пропиткой под вакуумом спектрального угля эпоксидными смолами. Модификатор, представляющий собой смесь микрокристаллического графита и полистирола в 1,2-дихлорэтаноле (углеродные чернила) наносили на поверхность индикаторного электрода. Вспомогательный электрод и электрод сравнения – платиновый и хлоридсеребряный электроды, соответственно. Рабочий раствор