

- [2]. Миндубаев А.З., Волошина А.Д., Бабынин Э.В., Бадеева Е.К., Хаяров Х.Р., Минзанова С.Т., Яхваров Д.Г. Микробиологическая деградация белого фосфора // *Экология и промышленность России*, 2018
- [3]. Миндубаев А.З., Кузнецова С.В., Евтюгин В.Г., Даминова А.Г., Григорьева Т.В., Романова Ю.Д., Романова В.А., Бабаев В.М., Бузюрова Д.Н., Бабынин Э.В., Бадеева Е.К., Минзанова С.Т., Миронова Л.Г. Влияние белого фосфора на выживаемость, протеом и клеточную морфологию *Aspergillus niger* // *Прикладная биохимия и микробиология*, 2020
- [4]. Mindubaev A.Z., Kuznetsova S.V., Evtyugin V.G., Daminova A.G., Grigoryeva T.V., Romanova Y.D., Romanova V.A., Babaev V.M., Buzyurova D.N., Babynin E.V., Badeeva E.K., Minzanova S.T., Mironova L.G. Effect of White Phosphorus on the Survival, Cellular Morphology, and Proteome of *Aspergillus niger* // *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2020
- [5]. Миндубаев А.З., Бабынин Э.В., Бадеева Е.К., Пискунов Д.Б., Махиянов А.Н., Минзанова С.Т., Миронова Л.Г., Волошина А.Д. Генотоксичность и цитогенетическое действие белого фосфора // *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*, 2019
- [6]. Mindubaev A.Z., Babynin E.V., Voloshina A.D., Saparmyradov K.A., Akosah Y.A., Badeeva E.K., Minzanova S.T., Mironova L.G. The possibility of neutralizing white phosphorus using microbial cultures // *Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия химии и технологии*, 2019

ЦВЕТОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ ПОРОШКА НА ОСНОВЕ ПОЛИАМИДА-12 В ПРОЦЕССЕ 3D-ПЕЧАТИ

Мокшина Н.Я., Хрипушин В.В., Ефимов А.С., Морозов Н.Д.

ВУНЦ ВВС "Военно-воздушная академия

им проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, Воронеж, Россия

moksnad@mail.ru

DOI: 10.26902/UDL2020_22

В настоящее время активно развиваются методы цифровой цветометрии и морфологического анализа цифровых изображений. Этими методами контролируют цвет, морфологию объектов анализа, устанавливая количественное соотношение между цветовыми, морфологическими характеристиками и качеством продукции. Цифровые технологии позволяют количественно измерять параметры цвета объектов, их количество и форму, что обуславливает актуальность исследования возможностей компьютерной цветометрии в качественном и количественном анализе материалов, применяемых для 3D-печати.

Цель исследования состояла в разработке методик, основанных на компьютерной обработке изображений, применимых для оценки старения полиамидного порошка, используемого в цикле 3D-печати методом селективного лазерного спекания [1]. Изучались порошки для 3D-принтеров

на основе полиамида-12 (ПА-12) марки PA2200. ПА-12 представляет собой алифатический гетероцепной линейный полимер белого цвета, получаемый полимеризацией лактама аминододекановой кислоты в присутствии воды и кислотных катализаторов. Изделия из ПА-12 работоспособны при температуре от -60 до 60 °С, кратковременно – при 120 °С, их водопоглощение не превышает $2,0\%$ [2].

Для моделирования процессов старения порошка в нерабочую зону камеры 3D-принтера устанавливались стеклянные боксы с неплотно закрытой крышкой, наполненные вторичным порошком ПА-12. После образцы проходили весь процесс печати: заполнение рабочей камеры азотом, нагревание до 175 °С в течение 24 часов, охлаждение.

Цифровые изображения получали с использованием цифровых фотокамер, планшетных сканеров, web-камер, IP-камер. Представляется интересным использование камер, встроенных в цифровые гаджеты (смартфоны, планшеты) и облачных сервисов для хранения цифровых изображений. Разрешение сканирования – 200 dpi, глубина цвета – TrueColor (32 bit), формат – jpg. Сканирование и первичная обработка цифровых изображений проводились с использованием прилагаемого к сканеру программного обеспечения, постобработка – в программе, написанной в среде пакета Mathcad [2]. После ввода в программу графического файла выделялась интересующая область и рассчитывались интегральные параметры цвета моделей RGB. Цветное изображение дифференцировали на три монохромные составляющие: красного R, $\lambda=700$ нм; зеленого G, $\lambda=546$ нм; синего B, $\lambda=436$ нм.

Установлено изменение цвета вторичного порошка ПА-12 в зависимости от продолжительности термического воздействия и газовой среды. Можно выделить три определяющих фактора, вызывающих деградацию свойств смешанного порошка: изменение фазового равновесия в полимере; уменьшение однородности структуры; увеличение молекулярно-массового распределения порошка вследствие термоокислительной деструкции.

Список литературы

- [1]. Lipson H., Kuman M. Fabricated: The New World of 3D Printing. Wiley, 2013
- [2]. Хрипушин В.В., Мокшина Н.Я., Пахомова О.А. // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2018