

УДК 615.462-036.5

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ЭФФЕКТА ПАМЯТИ ФОРМЫ  
ЭЛЕКТРОСПИННИНГОВАННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА,  
МОДИФИЦИРОВАННОГО ВОССТАНОВЛЕННЫМ ОКСИДОМ ГРАФЕНА, ДЛЯ  
ТКАНЕВОЙ ИНЖЕНЕРИИ**

**Ковалева П.А.** (Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»)

**Научный руководитель – к.ф.-м.н. Сенатов Ф.С.** (Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»)

**Введение.** Эффект памяти формы (ЭПФ) – это способность материала восстанавливать свою первоначальную форму из ранее временно запрограммированной формы при воздействии внешних раздражителей различной природы. В полимерных материалах эффект памяти формы является результатом сочетания химического состава полимера, морфологии и специфических условий обработки. Такие материалы обладают огромным потенциалом во многих областях, в том числе в медицине в качестве адаптивных конструкций для малоинвазивных операций.

В последние годы полимолочная кислота (PLA) вызывает все больший интерес из-за ее использования в биомедицинской области благодаря таким свойствам как высокие предел прочности и модуль Юнга, биосовместимость и способность разлагаться в физиологических условиях в нетоксичные продукты. Кроме того, этот полимер характеризуется термочувствительным эффектом памяти формы [1], который реализуется за счет вязкоупругих свойств полимера и активируется при температуре стеклования ( $T_g$ ) около 60 °С. Однако, рассматривая потенциальные биомедицинские применения, температура активации ЭПФ намного выше температуры человеческого тела, а вместе с его хрупкостью и относительно низким удлинением при разрыве, ограничивает его прямое применение. Именно поэтому в настоящее время изучаются многочисленные стратегии, основанные на сополимеризации, пластификации и добавлении дисперсных компонентов и для изменения конечных свойств PLA [2].

Для тканевой инженерии особый интерес представляют полимерные волокнистые материалы. Многочисленные исследования показали, что нано- и микроволокнистые структуры оказывают положительное влияние на поведение клеток благодаря своей топографии, аналогичной волокнистой структуре естественного внеклеточного матрикса. Полилактид хорошо поддается электроформованию волокон, а кроме того, волокнистый скаффолд из PLA также способен фиксировать временную и восстанавливать первоначальную форму [3].

**Основная часть.** В данной работе исследовались волокнистые скаффолды на основе полилактида, полученные методом электроспиннинга. Поликапролактон (PCL) добавляли в количестве 10% масс. в качестве пластификатора для улучшения механических свойств и снижения температуры активации ЭПФ [4]. Полимерная смесь была модифицирована частицами восстановленного оксида графена (rGO), которые обладают выдающейся электро- и теплопроводностью; включение таких частиц в полимерную матрицу может способствовать образованию тепловых центров и влиять на характеристики эффекта памяти формы [5].

**Выводы.** Было исследовано влияние небольшого количества (0,7, 1,0 и 1,5 мас. %) rGO на морфологию, структуру, тепловое поведение и характеристики памяти формы полимерной смеси PLA-PCL. Исследования методами XRD и ДСК выявили переход полукристаллической орторомбической структуры PLA в квазиморфную после нагревания

и цикла ЭПФ. Добавление rGO способствовало изменению структуры полученных композиционных материалов и улучшению их механических характеристик. Кроме того, наполнитель влиял на активацию ЭПФ благодаря своим высоким теплопроводящим свойствам; rGO способствовал размягчению полимерной матрицы, что приводило к процессам релаксации перед восстановлением. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ (№ 21-73-205).

#### **Список использованных источников:**

1. Yan B., Gu S., Zhang Y. Polylactide-based thermoplastic shape memory polymer nanocomposites //European polymer journal. – 2013. – Т. 49. – №. 2. – С. 366-378.
2. Molavi F. K. et al. Nanocomposites based on poly (L-lactide)/poly ( $\epsilon$ -caprolactone) blends with triple-shape memory behavior: effect of the incorporation of graphene nanoplatelets (GNPs) //Composites Science and Technology. – 2017. – Т. 151. – С. 219-227.
3. Leonés A. et al. Shape memory effect on electrospun PLA-based fibers tailoring their thermal response //European Polymer Journal. – 2019. – Т. 117. – С. 217-226.
4. Zhukova P. A. et al. Polymer composite materials based on polylactide with a shape memory effect for “self-fitting” bone implants //Polymers. – 2021. – Т. 13. – №. 14. – С. 2367.
5. Kovaleva P. A. et al. Shape memory effect in hybrid polylactide-based polymer scaffolds functionalized with reduced graphene oxide for tissue engineering //European Polymer Journal. – 2022. – Т. 181. – С. 111694.