

«УТВЕРЖДАЮ»

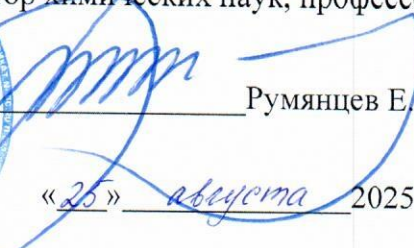
и.о. ректора ФГБОУ ВО

«Российский химико-технологический

университет имени Д.И. Менделеева»

доктор химических наук, профессор



 Румянцев Е.В.

«25» августа 2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Ковалевой Полины Александровны «Реализация эффекта памяти формы в композиционных материалах на основе полилактида для применения в тканевой инженерии», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния»

Актуальность работы.

Представленная диссертационная работа посвящена актуальной проблеме разработки и исследования функциональных полимерных композиционных материалов с эффектом памяти формы (ЭПФ) на основе полилактида для применения в регенеративной медицине и тканевой инженерии. Особую значимость приобретают "умные" материалы, свойства которых можно программировать под конкретные медицинские задачи, в частности – для разработки самоустанавливающихся и самопозиционирующихся имплантатов и медицинских устройств. В этом контексте исследование механизмов реализации ЭПФ в биосовместимых полимерных системах представляет собой важную научную задачу, решение которой имеет как фундаментальное, так и прикладное значение.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

1. Предложена физическая модель эволюции структуры объемных композиционных материалов на основе аморфного полимера в процессе реализации ЭПФ на примере ПЛА. Также предложена модель, описывающая зависимость

степени кристалличности от деформации при растяжении во временную и восстановленную;

2. Установлено влияние дисперсного биоактивного наполнителя и термической обработки на надмолекулярную структуру композиционных материалов различных типов. Определены оптимальные составы для реализации наибольших реактивных напряжений и степени восстановления формы;

3. Выявлено влияние пластифицирующего полимера ПКЛ на организацию структуры полимерной матрицы ПЛА и параметры эффекта памяти формы с определением оптимального количества для обеспечения высоких значений степени восстановления и реактивных напряжений;

4. Выявлены закономерности реализации эффекта памяти формы в волокнистых скаффолдах, полученных методом электроформования. Установлены зависимости влияния наполнителя rGO на формирующуюся структуру и основные параметры эффекта памяти формы;

5. Продемонстрированы закономерности изменения структурных характеристик в процессе реализации эффекта памяти формы в объемных композиционных материалах и электроформованных скаффолдах на основе ПЛА;

Практическая значимость работы заключается в разработке новых композиционных материалов на основе ПЛА/ПКЛ с добавлением диоксида и восстановленного оксида графена, обладающих эффектом памяти формы. Эти материалы перспективны для создания тканеинженерных конструкций и медицинских изделий с высокими показателями восстановления и реактивных напряжений. Материалы и методологические подходы, имеют потенциал для практического внедрения в научно-исследовательской и клинической деятельности профильных учреждений, например, для разработки имплантатов совместно с ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» (ЭДиТО), для применения биорезорбируемых скаффолдов в регенеративной медицине совместно с группой профессора Лунина В.Г. ФГБУ «НИЦ эпидемиологии и микробиологии им. Н.Ф. Гамалеи» Минздрава России, или для создания остеопластических материалов и умных имплантатов в травматологии и ортопедии совместно с ФГБУ «НМИЦ травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов подтверждаются корректностью постановки цели и задач, выбранными методами исследования, использованием современного оборудования, валидированных протоколов и необходимого количества повторов. Степень достоверности теоретической модели подтверждается экспериментальными результатами и численным моделированием.

Оценка содержания диссертации. Работа состоит из введения, 6 глав, выводов и списка литературы из 186 наименований, содержит 94 рисунка и 16 таблиц на 157 страницах.

Во введении представлена актуальность темы диссертации, обоснована цель и задачи исследования, сформулированы научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, положения, выносимые на защиту, а также представлены степень достоверности и апробация результатов исследования, отмечен личный вклад автора. В первой главе представлен аналитический обзор литературы, который демонстрирует фундаментальную основу и последние исследования в области разработки композиционных материалов для тканевой инженерии и полимерных материалов с памятью формы. Во второй главе представлены используемые материалы, методы получения композиционных материалов и экспериментальных образцов, а также методы исследования и анализа данных. В третьей главе охарактеризованы основные типы надмолекулярной структуры композиционных материалов на основе полилактида, а именно аморфная, ламеллярная и сферолитная организации, и показаны различия в реализации эффекта памяти формы в них. Показано влияние диоксида на их кристаллическую составляющую, термомеханические свойства и параметры эффекта памяти формы. В результате исследований выявлена надмолекулярная структура и количество дисперсного наполнителя, с наиболее высокими параметрами ЭПФ. В четвертой главе представлено исследование влияния пластифицирующего полимера поликапролактона (ПКЛ) на структуру ПЛА и композиционного материала ПЛА/Д, а также на реализацию ЭПФ. Было показано, что включение ПКЛ в матрицу ПЛА не влияло на степень восстановления формы, так как ПКЛ способен проявлять ЭПФ в точке плавления, а также увеличивало модуль упругости и снижало реактивные напряжения. На основе этих исследований был определен состав трёхкомпонентной системы, где происходит компенсация пластифицирующего эффекта ПКЛ и эффекта проявления узлов жесткой фазы диоксида. В пятой главе была показана возможность реализации ЭПФ в пористых электроформованных скаффолдах на основе пластифицированного полилактида. Проведено комплексное исследование морфологии, структуры и параметров эффекта памяти формы, а также выявлено влияние функционального наполнителя rGO на структуру и свойства. В заключительной шестой главе продемонстрированы закономерности эволюции структуры в процессе реализации эффекта памяти формы для различных типов композиционных материалов: ПЛА/Д и ПЛА/ПКЛ/Д и ПЛА/ПКЛ/rGO. Построена и описана физическая модель эволюции структуры в процессе реализации ЭПФ в объемных аморфных полимерных материалах на примере ПЛА. Также для

предсказания степени кристалличности материала в процессе его ориентационной деформации было выведено уравнение зависимости доли кристалличности от степени деформации во временной форме. Заключение содержит описание полученных результатов и выводы по диссертации.

Настоящая диссертационная работа соответствует всем критериям научно-квалификационного исследования. Автором убедительно обоснована актуальность выбранной темы, что подтверждается анализом современного состояния проблемы и ссылками на актуальные научные публикации. Цель и задачи исследования сформулированы четко и корректно, полностью соответствуя заявленной научной проблематике. Прослеживается логическое построение глав диссертационной работы, позволяющие автору корректно выбирать цели и методы исследования. Работа составлена в соответствии с требованиями, предъявляемыми к кандидатским диссертациям. Материал диссертации изложен грамотным языком в академическом стиле. Автореферат диссертации соответствует её содержанию.

Результаты исследований полностью отражены в публикациях автора (8 публикаций). Результаты апробированы на российских и международных конференциях.

Замечания по диссертационной работе

1. В диссертационной работе продемонстрировано глубокое понимание механизмов реализации эффекта памяти формы в полимерных материалах, однако, в результатах исследований для различных композиционных материалов представлены данные только о разовой активации эффекта, было бы полезным оценить количество возможных циклов эффекта памяти формы, а также параметров, влияющих на вероятное снижение степени восстановления формы.

2. В работе не приведены прямые сравнительные данные с другими известными материалами с ЭПФ (например, полиуретан). Это затрудняет оценку конкурентных преимуществ разработанных композитов.

Приведенные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационного исследования.

Заключение

Оценивая выполненную работу, важно отметить, что по совокупности полученных результатов она является самостоятельным научным исследованием, в котором решена важная научно-практическая задача. Автореферат и публикации объективно отражают содержание диссертации. Достигнутые результаты могут быть использованы как основа будущих работ в области создания тканеинженерных конструкций и медицинских устройств с эффектом памяти формы.

Актуальность, достоверность, новизна научных положений и выводы, сформулированные в диссертации, делают диссертацию Ковалевой Полины Александровны необходимой научно-исследовательской работой, соответствующей поставленным целям и задачам.

Диссертация «Реализация эффекта памяти формы в композиционных материалах на основе полилактида для применения в тканевой инженерии» является законченной научно-квалификационной работой и соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском технологическом университете "МИСИС", а ее автору, Ковалевой Полине Александровне может быть присвоена ученая степень кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния».

Отзыв о диссертационной работе обсужден и утвержден на заседании кафедры биоматериалов ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» (протокол № 6 от 25 августа 2025 г.)

доктор химических наук, доцент,
заведующий кафедрой биоматериалов
РХТУ им. Д.И. Менделеева

Межуев Я.О.

Подпись Межуева Я.О.

у д о с т о в е р я ю

Ученый секретарь РХТУ им. Д.И. Менделеева

доктор технических наук, профессор

Макаров Н.А.

