

Заключение диссертационного совета МГУ.013.3

по диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

Решение диссертационного совета от 20 июня 2024 г. № 8

О присуждении Антиповой Кристине Георгиевне, гражданке Российской Федерации
ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Полимерные и композиционные гидрогелевые материалы для биомедицины с регулируемыми механическими характеристиками» по специальности 1.4.7. Высокомолекулярные соединения принята к защите диссертационным советом МГУ.013.3 16 мая 2024 г., протокол № 7.

Соискатель Антипова Кристина Георгиевна, 1996 года рождения, в 2019 году окончила магистратуру Института нано-, био-, информационных и когнитивных технологий Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», в 2023 году окончила аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт».

Соискатель работает в должности младшего научного сотрудника лаборатории полимерных материалов отдела нанобиоматериалов и структур Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт».

Диссертация выполнена в лаборатории полимерных материалов отдела нанобиоматериалов и структур Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт».

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук Григорьев Тимофей Евгеньевич, заместитель руководителя по научной работе Курчатовского комплекса НБИКС-природоподобных технологий Национального исследовательского центра «Курчатовский институт».

Официальные оппоненты:

Анохин Денис Валентинович – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник группы адаптивных материалов Федерального исследовательского центра проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук;

Махаева Елена Евгеньевна – доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры физики полимеров и кристаллов физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»;

Попов Анатолий Анатольевич – доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией физико-химии композиций синтетических и природных полимеров Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук»;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Соискатель имеет 41 опубликованную работу, в том числе по теме диссертации 6 работ, все опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.4.7. Высокомолекулярные соединения. Все статьи индексируются в базах данных Web of Science, Scopus, RSCI.

Перечень основных публикаций:

1. Антипова К.Г. In-situ механические испытания полимерных материалов с помощью растрового микроскопа / Ястремский Е.В., Пацаев Т.Д., Крашенинников С.В., Крупнин А.Е., Антипова К.Г., Луканина К.И., Григорьев Т.Е., Шариков Р.В., Шарикова Н.А., Волков Д.А., Камышинский Р.А., Васильев А.Л. // Российские нанотехнологии. – 2023. – Т. 18, № 2. – С. 268-275. IF = 0,74 (РИНЦ), 0,44 авт. л., вклад автора – 0,2.
2. Антипова К.Г. Установка для механических испытаний in-situ в растровом электронном микроскопе / Пацаев Т.Д., Ястремский Е.В., Крашенинников С.В., Крупнин А.Е., Антипова К.Г., Луканина К.Е., Григорьев Т.Е., Камышинский Р.А., Васильев А.Л. // Приборы и техника эксперимента. – 2023. – № 3. – С. 157-159. IF = 0,556 (РИНЦ), 0,13 авт. л., вклад автора – 0,1.
3. Antipova C.G. Biomechanical behaviour of PEDOT: PSS-based hydrogels as an electrode for stent integrated enzyme biofuel cells / Antipova C.G., Parunova Yu.M., Vishnevskaya M., Krasheninnikov S.V., Lukanina K.I., Grigoriev T.E., Chvalun S.N., Gotovtsev P.M. // Heliyon. – 2022. – Vol. 8, № 3. – P. e09218(1-7). JIF = 4 (WoS), 0,65 авт. л., вклад автора – 0,5.
4. Antipova C.G. How the Nonwoven Polymer Volume Microstructure Is Transformed under Tension in an Aqueous Environment / Khramtsova E., Morokov E., Antipova C., Krasheninnikov S., Lukanina K., Grigoriev T. // Polymers. – 2022. – Vol. 14, № 17. – P. 3526(1-13). JIF = 5 (WoS), 0,85 авт. л., вклад автора – 0,2.
5. Antipova C.G. Study of highly porous poly-l-lactide-based composites with chitosan and collagen / Antipova C. G., Lukanina K. I., Krasheninnikov S.V., Malakhov S.N., Kamyshinsky R.A., Grigoriev T.E., Chvalun S.N. // Polymers for Advanced Technologies. – 2021. – Vol. 32, №. 2. – P. 853-860. JIF = 3.4 (WoS), 0,59 авт. л., вклад автора – 0,7.
6. Antipova C.G. Chitosan-based fiber-sponge materials as a promising tool for microalgae harvesting from Lake Baikal / Grigoriev T.E., Lukanina K.I., Gotovtsev P.M., Gorin K.V., Melnikova A.,

Antipova C.G., Kamyshinsky R.A., Chvalun S.N. // Journal of Applied Polymer Science. – 2020. – Vol. 137, № 40. – P. 49209(1-9). JIF = 3 (WoS), 0,69 авт. л., вклад автора – 0,2.

На автореферат поступили 5 дополнительных отзывов, все положительные.

Выбор официальных оппонентов обосновывался их профессиональной квалификацией и наличием публикаций в области высокомолекулярных соединений.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований получены научные результаты и решены научные задачи, имеющие фундаментальное и прикладное значение для тканевой инженерии и биотехнологии.

Основные результаты работы:

1. Предложена методика определения параметров упругости гидрогелей на основе полиакриламида с привлечением испытаний на одноосное растяжение, сжатие, кручение и бесконтактного метода определения коэффициента Пуассона. Полученные значения параметров упругости верифицированы в экспериментах на индентирование. Значения модуля сдвига, полученные в ходе аппроксимации деформационных кривых растяжения моделями гиперупругого поведения, совпадают с экспериментальными значениями. Для полиакриламидных гидрогелей с концентрацией сшивок в диапазоне от 1,0% до 9,0% показано хорошее соответствие результатов разных методов механических испытаний.
2. Показано, что механическое поведение полиакриламидных гидрогелей и криогелей на основе поливинилового спирта с каррагинаном сопоставимо с поведением нативных мягких тканей: модули сдвига, определенные по результатам аппроксимации моделями гиперупругости, лежат в диапазоне от 7 до 55 кПа, что соответствует значениям модуля сдвига для миокарда, кожи, почки, печени, мышечных тканей и языка
3. Разработана методика наполнения полиакриламидных гидрогелей пористыми частицами на основе полилактида. Предложенный подход позволил получить трехкратный рост модуля упругости гидрогелей при введении не более 1 мас.% наполнителя за счет его пористой структуры.
4. Разработана методика модификации нетканого волокнистого материала природными полимерами для получения биоподобной структуры внеклеточного матрикса с сохранением высокой пористости.
5. Подтверждено, что внедрение в волокнистую матрицу коллагена и хитозана приводит к гидрофилизации поверхности и формированию среды, пригодной для заселения водорослевыми клеточными культурами. Снижение пористости композиционного материала на 1% за счет добавления природного губчатого наполнителя приводит к 5-кратному росту упруго-прочностных свойств материала.

Диссертация посвящена разработке и исследованию новых композиционных материалов с различной морфологией и регулируемые механическими характеристиками. В частности, в работе была предложена методика синтеза новых композитов на основе полиакриламидного гидрогеля, наполненных частицами из полилактида и получены губчато-волоконистые материалы на основе полилактида с добавлением коллагена и хитозана, перспективных для применения в тканевой инженерии. В работе показано, что добавление небольшого количества наполнителя позволяет тонко регулировать механические свойства композитов. Предложена новая методика комплексного исследования механических свойств гидрогелей, которая позволила экспериментально определить границы применимости различных методов механических испытаний (одноосное растяжение, сжатие, кручение и индентирование), в которых измеряемые упругие характеристики гидрогелей хорошо коррелируют. Установлены ограничения теоретических моделей гиперупругости Нео-Гука и Муни-Ривлина для описания механического поведения гидрогелей при испытаниях на индентирование с применением метода конечных элементов.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1. Разработанная комплексная методика определения параметров упругости гидрогелей включает в себя одноосное растяжение с применением дополнительной фиксирующей оснастки, сжатие, кручение, индентирование и бесконтактный метод определения коэффициента Пуассона.
2. Низкая доля вводимого пористого наполнителя на основе полилактида приводит к значительному росту модуля упругости композиционных полиакриламидных гидрогелей.
3. Предложенный подход получения композиционного губчато-волоконистого материала на основе нетканого материала и губчатого наполнителя обеспечивает формирование биомиметичной структуры. Использование природных полимеров в качестве губчатого наполнителя способствует биофункционализации композиционного материала и увеличивает его биосовместимость.
4. Механическое поведение губчато-волоконистого материала определяется увеличением количества узлов сетки зацеплений между волокнами при низкой доле наполнителя, что приводит к резкому росту модуля упругости. Дальнейшее наполнение приводит к образованию перколяционной сетки наполнителя в композите, что значительно увеличивает его прочность.

На заседании 20.06.2024 диссертационный совет принял решение присудить Антиповой К.Г. ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.4.7. Высокомолекулярные соединения.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 12 человек, из них 4 доктора наук по специальности 1.4.7. Высокомолекулярные соединения, участвовавших в заседании, из 18 человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» – 12, «против» – 0, недействительных голосов – нет.