

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук Оспенникова Александра Сергеевича на тему: «Гидрогели на основе гибкоцепного полимера и нанокристаллов целлюлозы: структура, механические свойства и 3D-печать» по специальности 1.4.7. Высокомолекулярные соединения (физико-математические науки).

Гидрогели на основе природных полисахаридов перспективны для биомедицины и тканевой инженерии благодаря биоразлагаемости и биосовместимости, однако их недостаточная механическая прочность ограничивает практическое применение. Поэтому разработка подходов к повышению прочности, эластичности и энергии разрушения таких гидрогелей, а также создание чернил для экструзионной 3D-печати является актуальной задачей.

Диссертационная работа Оспенникова А.С., посвященная созданию и исследованию гидрогелей на основе гидроксипропилгуара (ГПГ) и нанокристаллов целлюлозы (НЦ), безусловно, отвечает этим вызовам, и ее актуальность не вызывает сомнений.

Работа выполнена на высоком экспериментальном уровне и включает три логических этапа. На первом этапе получено метакрилированное производное гидроксипропилгуара (ГПГ-МА) и изучены ковалентные гели, сшитые УФ-облучением. Показана возможность регулирования модуля упругости через степень метакрилирования и концентрацию полимера. Введением поли(3-(акриламидо)фенилбороновой кислоты) созданы гели с двумя типами сшивок (ковалентные и лабильные), что увеличило модуль упругости и придало pH-восприимчивость.

На втором этапе исследованы суспензии карбоксиметилированных нанокристаллов целлюлозы, сшитых ионами кальция. Показано, что аномально резкая зависимость модуля накопления от концентрации ($G' \sim C^7$), обусловлена ростом агрегатов НЦ как в ширину, так и в длину. Гели сохраняют способность к быстрому восстановлению после сдвига.

На третьем этапе созданы двойные сетки из мягкой ковалентной сетки ГПГ-МА и жесткой физической сетки НЦ- Ca^{2+} . Включение жесткой сетки одновременно повысило прочность, эластичность и энергию разрушения (в 6 раз) по сравнению с одиночной сеткой. Методами крио-ЭМ и томографии впервые визуализирована трёхмерная структура сетки НЦ- Ca^{2+} в объёме двойной сетки, обнаружены фибриллоподобные агрегаты и концевые контакты НЦ. Продемонстрирована

пригодность суспензий для экструзионной 3D-печати. Наличие сетки HCl-Ca^{2+} подавляет растекание, повышая точность печати.

На всех этапах исследований применялся комплекс современных взаимодополняющих методов, включая реометрию, механические испытания (одноосное сжатие и растяжение), малоугловое рассеяние нейтронов, крио-ЭМ, криоэлектронную томографию, ЯМР-спектроскопию, ИК-спектроскопию, УФ-спектроскопию, изотермическую титрационную калориметрию и 3D-печать. Поэтому достоверность полученных результатов и обоснованность выводов не вызывают сомнений. По материалам диссертации опубликовано 4 статьи в изданиях, индексируемых в российских и международных базах данных.

Данная диссертационная работа является законченным научным исследованием. Тема и содержание работы соответствуют паспорту специальности 1.4.7. Высокомолекулярные соединения (физико-математические науки). Работа удовлетворяет требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г., № 842 (в действующей редакции), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Оспенников Александр Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.4.7. Высокомолекулярные соединения.

Кандидат физико-математических наук (02.00.06 – высокомолекулярные соединения), заместитель руководителя по научной работе Курчатовского комплекса НБИКС-природоподобных технологий Григорьев Тимофей Евгеньевич

Национальный Исследовательский Центр «Курчатовский институт»

Адрес: 123182 Москва, площадь академика Курчатова, д. 1

Электронная почта: nrcki@nrcki.ru

Internet адрес: www.nrcki.ru

Телефон: +7 (499) 196-95-39

Григорьев Т.Е.

Дата 01.09.2026

Подпись Т.Е. Григорьева заверяю
Заместитель директора – главный ученый
НИЦ «Курчатовский институт»

О.А. Алексеева