

Заключение диссертационного совета МГУ.013.3
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

Решение диссертационного совета от «17» сентября 2026 г. № 5

О присуждении Оспенникову Александру Сергеевичу, гражданину Российской Федерации,
ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Гидрогели на основе гибкоцепного полимера и нанокристаллов целлюлозы: структура, механические свойства и 3D-печать» по специальности 1.4.7. Высокомолекулярные соединения принята к защите диссертационным советом МГУ.013.3 18 июня 2026, протокол № 4.

Соискатель Оспенников Александр Сергеевич, 1999 года рождения, В 2022 г. окончил магистратуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», в период подготовки диссертации обучался в аспирантуре физического факультета того же ВУЗа с 01.10.2022 г. по настоящее время.

Соискатель работает в должности младшего научного сотрудника кафедры физики полимеров и кристаллов физического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Диссертация выполнена на кафедре физики полимеров и кристаллов физического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Филиппова Ольга Евгеньевна, профессор кафедры физики полимеров и кристаллов физического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Официальные оппоненты:

Ярославов Александр Анатольевич, доктор химических наук, профессор, член-корреспондент РАН, Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, химический факультет, заведующий кафедрой высокомолекулярных соединений;

Клечковская Вера Всеволодовна, доктор физико-математических наук, профессор, Курчатовский комплекс кристаллографии и фотоники НИЦ «Курчатовский институт», Институт кристаллографии им. А.В.Шубникова Российской академии наук, заведующая лабораторией электронографии;

Патлажан Станислав Абрамович, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семёнова Российской академии наук, главный научный сотрудник лаборатории физики и механики полимеров

дали положительные отзывы на диссертацию.

Выбор официальных оппонентов обосновывался их профессиональной

квалификацией и наличием публикаций в области физики высокомолекулярных соединений.

Соискатель имеет 13 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 4 статьи, все опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.4.7. Высокомолекулярные соединения (по физико-математическим наукам).

1. Ospennikov A.S., Shibaev A.V., Philippova O.E. Double photocrosslinked responsive hydrogels based on hydroxypropyl guar // International Journal of Molecular Sciences. – 2023. – Vol. 24, № 24. – P. 17477. EDN: ZMXEFL. Импакт-фактор 4,9 (JIF), 1,2 п.л. Вклад автора – 0,7.

2. Ospennikov A.S., Chesnokov Y.M., Shibaev A.V., Lokshin B.V., Philippova O.E. Nanostructured hydrogels of carboxylated cellulose nanocrystals crosslinked by calcium ions // Gels. – 2024. — Vol. 10, № 12. – P. 777. EDN: VFCNFL. Импакт-фактор 5,3 (JIF), 1,2 п.л. Вклад автора – 0,6.

3. Ospennikov A.S., Kwiatkowski A.L., Philippova O.E. Cellulose Nanofibrils vs Nanocrystals: Rheology of Suspensions and Hydrogels // Gels. – 2025. – Vol. 11, № 11. – P. 926. EDN: WQJTJX. Импакт-фактор 5,3 (JIF), 1,5 п.л. Вклад автора – 0,7.

4. Ospennikov A.S., Shibaev A.V., Chesnokov Y.M., Samokhin A.S., Leontiev N.V., Evdokimov P.V., Kuklin A.I., Philippova O.E. 3D-printable bio-sourced nanocomposite hydrogels based on two polysaccharide components: hydroxypropyl guar macromolecules and cellulose nanocrystals // Journal of Colloid and Interface Science. – 2026. – Vol. 702, Part 1. – P. 138836. EDN: HSABCX. Импакт-фактор 9,7 (JIF), 1,8 п.л. Вклад автора – 0,6.

На диссертацию и автореферат поступил 1 дополнительный положительный отзыв,

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований получены научные результаты и решены научные задачи, имеющие значение для развития экспериментальной физики высокомолекулярных соединений.

Основные результаты работы:

1. Впервые получено метакрилированное производное полимера природного происхождения гидроксипропилгуара (ГПГ-МА) и синтезированы гели на его основе путем УФ-сшивания. Разработанный способ синтеза геля гидроксипропилгуара перспективен для использования в экструзионной 3D-печати.

2. Впервые получены гели ГПГ-МА с введенными в них цепями поли(3-(акриламидо)фенилбороновой кислоты) (ПФБК), содержащие два типа сшивок: необратимые ковалентные сшивки за счет метакрилатных групп и лабильные сшивки за счет взаимодействия фенилборат-ионов с цис-диольными группами ГПГ. Лабильные сшивки увеличивают модуль упругости геля и придают ему pH чувствительность.

3. Сшивание карбоксиметилированных нанокристаллов целлюлозы хлоридом кальция приводит к росту модуля накопления на полтора порядка при сохранении способности геля к быстрому восстановлению структуры после воздействия сдвигового напряжения. Добавление ионов кальция приводит к росту агрегатов нанокристаллов целлюлозы не только в ширину, но и в длину, что объясняет увеличение модуля накопления гелей.

4. Впервые получены и исследованы двойные сетки гибкоцепного полимера и нанокристаллов целлюлозы, сшитых ионами кальция. Включение жесткой сетки нанокристаллов целлюлозы, сшитых ионами кальция, в мягкую сетку ГПГ-МА позволило повысить прочность и удлинение при разрыве композитного гидрогеля, а также увеличить энергию разрушения. Внутри двойных сеток впервые обнаружены фибриллоподобные агрегаты из нанокристаллов целлюлозы, представляющие собой пучки из двух–пяти нанокристаллов, соединённых с соседними пучками своими концами.

5. Показано, что суспензии, содержащие фотосшиваемый полимер ГПГ-МА и нанокристаллы целлюлозы, сшитые ионами кальция, являются перспективными чернилами для экструзионной 3D-печати. Точность формы печати возрастает с увеличением концентрации нанокристаллов за счёт подавления растекания материала.

6. Созданные гидрогели ГПГ–МА–ПФБК с двумя типами сшивок демонстрируют рН-чувствительное высвобождение антисептика, что открывает возможности для разработки «умных» антисептических покрытий и систем контролируемой доставки лекарственных средств.

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. Введение метакрилатных групп в гидроксипропилгуар позволяет получить фотосшиваемый полимер ГПГ-МА, а УФ-облучение его растворов в присутствии фотоинициатора приводит к образованию ковалентно сшитых гидрогелей. Введение поли(3-(акриламидо)фенилбороновой кислоты) формирует сетку ГПГ–МА–ПФБК с двумя типами сшивок — необратимыми ковалентными и лабильными; это повышает модуль упругости геля и придаёт ему рН-чувствительность, обеспечивающую контролируемое высвобождение антисептика.

2. Сшивание карбоксиметилированных нанокристаллов целлюлозы ионами Ca^{2+} приводит к росту модуля накопления гелей на полтора порядка при сохранении способности к быстрому восстановлению структуры после сдвигового разрушения. Методами криоэлектронной микроскопии и криоэлектронной томографии впервые показано, что добавление ионов кальция вызывает рост агрегатов нанокристаллов целлюлозы не только в ширину, но и в длину, что объясняет увеличение модуля накопления гелей.

3. Гибкоцепной полимер ГПГ-МА и нанокристаллы целлюлозы, сшитые ионами кальция, формируют двойную сетку. Включение жёсткой физической сетки НЦ– Ca^{2+} в мягкую ковалентную сетку ГПГ-МА одновременно повышает прочность, эластичность и энергию разрушения гидрогеля, а также увеличивает диссипацию энергии при циклических нагрузках. Методами крио-ЭМ и криоэлектронной томографии впервые обнаружены фибриллоподобные агрегаты из пучков нанокристаллов, соединённых концевыми частями; эти контакты наряду с ионными сшивками

играют роль жертвенных связей, обеспечивающих восстановление механических свойств после снятия нагрузки.

4. Суспензии ГПГ-МА/НЦ- Ca^{2+} являются перспективными чернилами для экструзионной 3D-печати. При экструзии они обратимо снижают вязкость при сдвиге на 4 порядка, после нанесения быстро восстанавливают высокую вязкость, а последующее УФ-облучение фиксирует форму изделия. Увеличение концентрации нанокристаллов подавляет растекание материала и повышает точность воспроизведения заданной геометрии, что подтверждено тестом на провисание нити и печатью решётчатых структур.

На заседании 17.09.2026 г. диссертационный совет принял решение присудить Оспенникову Александру Сергеевичу ученую степень кандидата физико-математических наук специальности 1.4.7. Высокомолекулярные соединения.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 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 - 14, против - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Заместитель председателя
диссертационного совета МГУ.013.3
доктор физико-математических наук,
профессор

А.В. Уваров

Ученый секретарь
диссертационного совета МГУ.013.3
кандидат физико-математических наук, доцент

И.А. Малышкина

17 сентября 2026 г.