

УТВЕРЖДАЮ:

Заместитель директора по науке
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Института
биохимической физики им. Н.М. Эмануэля
Российской академии наук,
д.х.н. Трофимов А.В.



«07» октября 2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук.

Диссертация на тему «Структура и свойства высоконаполненных биокомпозитов» выполнена Шеленковым Павлом Геннадьевичем в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук, лаборатории физико-химии композиций синтетических и природных полимеров.

Соискатель Шеленков Павел Геннадьевич с 2014 года работает в Обществе с ограниченной ответственностью «МЕТАКЛЭЙ Исследования и Разработки»: до 2020 года в должности инженера-исследователя, с 2020 года по настоящее время в должности начальника отдела физико-механических испытаний.

В 2007 году окончил Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московская государственная академия тонкой химической технологии им. М.В. Ломоносова» по специальности «Переработка пластических масс и эластомеров»; затем с 01.10.2016 года обучался в очной аспирантуре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук по специальности 1.4.7. Высокомолекулярные соединения».

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов № 169 выдано 17 сентября 2025 года Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институтом биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук.

Научный руководитель: кандидат химических наук Пантюхов Петр Васильевич (старший научный сотрудник ИБХФ РАН).

Тема диссертационной работы утверждена на заседании ученого совета Института биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук от 24 Ноября 2016года, протокол № 15. Научный руководитель утвержден на заседании ученого совета Института биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук от 30 Ноября 2023года, протокол № 85.

По результатам рассмотрения диссертации «Структура и свойства высоконаполненных биокмползитов» принято следующее заключение.

Оценка выполненной работы

Диссертация Шеленкова П.Г. является законченной научно-квалифицированной работой, в которой на основании полученных автором результатов исследований разработаны положения, имеющие актуальное научное и практическое значение. Диссертация соответствует требованиям ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.7. Высокомолекулярные соединения.

Актуальность работы

В настоящее время остро стоит вопрос создания биоразлагаемых материалов. В среде специалистов по полимерным материалам обсуждается проблема разработки экологичной упаковки для снижения уровня пластиковых отходов. Сегодня существует два пути решения данной проблемы. Первый – это синтез новых полимерных материалов способных полностью разрушаться под воздействием факторов окружающей среды, таких как, солнечный свет, влага, кислород воздуха и микробиота почвы. Среди таких материалов наиболее известны полилактид, полигидроксиалканоат и т.п. Недостатком данных материалов являются их низкие эксплуатационные свойства, такие как, температура размягчения, прочность при разрыве, хрупкость. Изделия из них хотя и подвержены разложению в окружающей среде, но имеют значительные ограничения по

применению, а также высокую стоимость, по сравнению с традиционными синтетическими полимерами.

Вторым путем решения проблемы накопления неразлагаемого пластикового мусора является создание композиционных материалов на основе синтетических полимеров и природных полимерных наполнителей, таких как, целлюлоза, крахмал, хитозан, древесная мука и т.д. Такие материалы обладают достаточно высокими эксплуатационными характеристиками, а после окончания их жизненного цикла, при попадании в компост, подвергаются воздействию микробиоты почвы, при этом разрушается природный наполнитель, а образовавшиеся метаболиты, в сочетании с климатическими факторами, разрушают синтетический полимер матрицы композиции. Недостатком подобных материалов является плохая совместимость природного наполнителя с синтетической полимерной матрицей. Для улучшения совместимости полимера матрицы с наполнителем в композиты вводят различные добавки (компатибилизаторы). Обычно для введения добавок в полимер матрицы применяются высоконаполненные композиты (суперконцентраты / мастербатчи), как например суперконцентрат красителя. В суперконцентратах содержание наполнителя варьируется от 50 до 90 масс.%,

Исследования, проводимые в рамках данной работы, направлены на изучение структуры и свойств высоконаполненных композиций на основе сополимера этилена с винилацетатом (СЭВА) и природного наполнителя разработанных в качестве суперконцентратов, а также готовых биокompозитов на основе полиэтилена низкой плотности (ПЭНП) и разработанных суперконцентратов.

Личный вклад автора состоял в проведении исследований, обработке и анализе полученных данных, формулировании положений и выводов, а также подготовке статей к публикации. Достоверность результатов, полученных в работе, достигалась применением комплекса современных методов исследования, а также многократной повторностью испытаний. Все исследования проводились автором лично или при непосредственном его участии. Материалы диссертации доложены автором в виде устных и стендовых докладов на конференциях, симпозиумах, конгрессах.

Степень достоверности результатов

Степень достоверности полученных результатов и обоснованность сделанных выводов обеспечена использованием современных методов исследования структуры и свойств полимерных материалов. При проведении экспериментов были использованы такие методы исследования полимеров, как дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК), ИК-Фурье спектроскопия, термогравиметрический анализ, электронная микроскопия, рентгеноструктурный анализ и т.п. Достоверность полученных в работе данных обеспечивалась инструментальной и статистической оценкой погрешности измерения, а также согласованием полученных результатов с литературными данными.

Научная новизна работы

Впервые установлены и обобщены корреляционные зависимости между химическим строением, молекулярными характеристиками СЭВА и структурно-динамическими характеристиками высоконаполненных композитов на основе дисперсных целлюлозных наполнителей различной морфологии.

Впервые для системы СЭВА-целлюлозный наполнитель установлены фундаментальные принципы влияния химического строения СЭВА на уровень межмолекулярного взаимодействия с целлюлозными микрочастицами, проявляющегося в изменении структурно-динамических свойств композитов. Продемонстрирована роль концентрации винилацетатных групп СЭВА в формировании межмолекулярного взаимодействия на границе раздела полимерной матрицы с дисперсными частицами полярных наполнителей и как следствие, изменение комплекса эксплуатационных параметров и стойкости к внешним агрессивным факторам окружающей среды. Раскрыто значение морфологии дисперсных частиц целлюлозных наполнителей в формировании комплекса физико-механических, сорбционно-диффузионных, реологических, термических свойств и кинетики биodeградации композитов на основе СЭВА и полиэтилена (ПЭ).

Теоретическая и практическая значимость работы

Установлено, что с ростом концентрации винилацетатных групп увеличивается скорость и степень водопоглощения, снижается модуль

упругости, растет стойкость к окислению дисперсно-наполненных композитов на основе СЭВА.

Впервые обнаружен эффект антиокислительной стабилизации СЭВА древесной мукой при переработке в расплаве. Описан эффект увеличения стойкости композиций СЭВА с древесной мукой (ДМ) к термоокислению, связанный с диффузией низкомолекулярных циклических соединений из ДМ в матрицу СЭВА. При этом, данный эффект тем больше, чем выше концентрация ВА звеньев в матрице СЭВА. В работе установлены температурно-временные условия стабилизации полиолефиновой матрицы при создании композитов с ДМ.

Показано, что наличие адгезионного взаимодействия между СЭВА и ДМ препятствует отрыву полимерной матрицы от дисперсного наполнителя в процессе деформирования. Установлено влияние концентрации СЭВА в композициях ПЭНП/СЭВА/природный наполнитель, на эксплуатационные характеристики данных композиций включая их способность к биодеструкции в почве.

В работе научно обоснована предельная концентрация целлюлозного наполнителя в суперконcentратах на основе СЭВА – 50 масс.%. Найдено оптимальное содержание добавки СЭВА в тройных композициях с ПЭ и природным наполнителем (40 масс. %), которое позволяет получить пленочные материалы с оптимальной совокупностью прочностных, деформационных, диффузионных характеристик и максимальной биоразлагаемостью.

Ценность научной работы соискателя заключается в установлении влияния структуры молекулы сополимера этилена с винилацетатом на свойства высоконаполненных композиций на основе данного сополимера и природных полимерных наполнителей. Установление закономерности изменения деформационных и прочностных характеристик суперконцентратов на основе сополимера этилена с винилацетатом и природных наполнителей от реологических характеристик исходного сополимера. Установление оптимального содержания сополимера этилена с винилацетатом в биокомпозитах на основе полиэтилена низкой плотности.

Апробация работы

Материалы диссертации представлены на: VII Всероссийской Каргинской конференции «Полимеры» (Москва, Россия, 2017, 2024), VI

научной молодежной школы-конференции «Химия, физика, биология: пути интеграции» (Москва, Россия, 2018); V Global Conference on Polymer and Composite Materials (Китакюсю, Япония, 2018); международной конференции FarEastConference (Владивосток, Россия, 2019); 8th Asian Symposium on Advanced Materials (ASAM-8) (Новосибирск, Россия, 2023); ежегодной молодежной конференции в ИБХФ РАН-ВУЗы (Москва, Россия); III Международной научной конференции «Новые материалы и технологии для устойчивого развития» (Москва, Россия, 2024).

Публикации

По теме диссертации опубликовано 15 печатных работ, из них – 7 статей в международных и российских рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК; 8 тезисов в сборниках трудов научных конференций.

Список публикаций в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК, а также включенных в системы цитирования Scopus и Web of Science:

1. Shelenkov P.G., Pantyukhov P.V., Popov A.A. Highly filled biocomposites based on ethylene-vinyl acetate copolymer and wood flour // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. 369(1). С. 012043.
2. Shelenkov P.G., Pantyukhov P.V., Popov A.A. Mechanical properties of superconcentrates based on ethylene-vinyl acetate copolymer and microcrystalline cellulose // Materials Science Forum. 2020. 992. С. 306–310.
3. Shelenkov P.G., Pantyukhov P.V., Popov A.A. Mechanical properties of biocomposites based on polymer blends of ethylene-vinyl acetate copolymer and polyethylene with natural fillers // Solid State Phenomena. 2021. 316. С. 159–163.
4. Shelenkov P.G., Pantyukhov P.V., Poletto M., Popov A.A. Influence of vinyl acetate content and melt flow index of ethylene-vinyl acetate copolymer on physico-mechanical and physico-chemical properties of highly filled biocomposites // Polymers. 2023. 15(12). С. 2639.
5. Shelenkov P.G., Pantyukhov P.V., Krivandin A.V., Popov A.A., Khaidarov B.B., Poletto M. Biocomposites based on polyethylene/ethylene-vinyl acetate copolymer/cellulosic fillers // Journal of Composites Science. 2024. 8(11). С. 464.

6. Shelenkov P.G., Pantyukhov P.V., Aleshinskaya S.V., Maltsev A.A., Abushakhmanova Z.R., Popov A.A., Saavedra-Arias J.J., Poletto M. Thermal stability of highly filled cellulosic biocomposites based on ethylene–vinyl acetate copolymer // *Polymers*. 2024. 16(15). С. 2103

7. Шеленков П.Г., Пантюхов П.В., Ольхов А.А., Попов А.А. Газопроницаемость пленок на основе смесей полиэтиленов низкой плотности - сэвиленов с целлюлозосодержащими наполнителями // *Тонкие химические технологии*. 2025. 20(2). С. 146-155.

Диссертационная работа «Структура и свойства высоконаполненных биокмползитов» Шеленкова Навла Геннадьевича является законченным научно-квалификационным исследованием и соответствует требованиям пп. 9–14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, с последующими изменениями. Диссертация рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.7. Высокомолекулярные соединения.

В качестве официальных оппонентов рекомендуется:

1. **Кириш Ирина Анатольевна**, доктор химических наук, профессор, зав. кафедрой «Промышленный дизайн, технология упаковки и экспертиза» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российского биотехнологического университета»
2. **Марков Анатолий Викторович**, доктор технических наук, профессор кафедры химии и технологии переработки пластмасс и полимерных композитов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московского института радиотехники, электроники и автоматики - Российского технологического университета»

В качестве ведущей организации – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский

государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)»

Заключение принято на заседании расширенного семинара по высокомолекулярным соединениям ИБХФ РАН 26 сентября 2025 года.

Присутствовало на заседании 14 человек, из них 5 докторов химических наук по специальности «Высокомолекулярные соединения».

Результаты голосования: «за» – 14 человек, «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел.

Председатель семинара
д.х.н., профессор



Попов Анатолий Анатольевич