

## ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук Соколовой Марины Дмитриевны  
на диссертационную работу Семенухи Оксаны Викторовны «РАЗРАБОТКА И  
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕНЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ  
ПОЛИДИМЕТИЛСИЛОКСАНА, МОДИФИЦИРОВАННОГО УГЛЕРОДНЫМИ  
НАНОСТРУКТУРАМИ», представленную на соискание ученой степени кандидата  
технических наук по специальности 2.6.11. – Технология и переработка синтетических и  
природных полимеров и композитов

Диссертационная работа Семенухи О.В. посвящена разработке и исследованию тензочувствительных композитов на основе полидиметилсилоксана (ПДМС), модифицированного углеродными наноструктурами, что является **актуальной научной проблемой**. Это связано с тем, что области применения полимерных композиционных материалов (ПКМ) в качестве конструкционных постоянно расширяются. На процесс изготовления и переработки полимеров и композитов огромное значение оказывает весь комплекс их свойств, что требует углубленного изучения процессов структурообразования матрицы тензочувствительного материала, модифицированного углеродными наноструктурами и определяющего его базовые эксплуатационные свойства. Исследования соответствуют приоритетам Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, Указ Президента Российской Федерации от 28.02.2024 г. № 145.

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева».

Большое теоретическое значение имеют результаты, связанные с влиянием способов диспергирования углеродных наноструктур в полимере на электропроводящие свойства композита на основе полидиметилсилоксана.

Большое практическое значение имеют созданные автором методики определения коэффициента тензочувствительности в режимах циклической деформации «нагружение-разгружение» при больших упругих деформациях и изгибающих напряжений.

### Структура и содержание работы

Диссертационная работа состоит из пяти глав, выводов, списка литературы и четырех приложений. Изложена на 121 странице машинописного текста и содержит 36 рисунков и 7 таблиц.

**Во введении** диссертантом обоснована актуальность проведенных исследований, обозначены цель и задачи, научная новизна и практическая значимость диссертации.

**Первая глава** посвящена рассмотрению и анализу научных работ, касающихся использованию углеродных нанотрубок для создания электропроводящих и тензочувствительных композитов. Автором также рассмотрено влияние способов диспергирования углеродных наноструктур в полимере для создания электропроводящих композитов. Таким образом, содержание литературного обзора полностью соответствует тематике диссертационного исследования Семенухи О.В.

**Вторая глава** содержит схему (алгоритм) исследований, описание объектов исследования, представлены технологии получения композитов и методики экспериментальных исследований. В качестве модификаторов ПДМС выбраны одностенные углеродные нанотрубки (ОУНТ), мастербатч Matrix, многостенные углеродные нанотрубки (МУНТ) и графен. При выполнении работы применены современные методы исследования: КР-спектроскопия, микроскопии (сканирующая, просвечивающая, оптическая), метод низкотемпературной адсорбции-десорбции азота, динамический механический анализ, ротационная вискозиметрия. Особо следует отметить на использование в исследованиях разработанных автором методик определения тензочувствительных свойств материала при деформациях «нагружение-разгружение» и «изгибающие напряжения», которые представлены в этой главе.

**В третьей главе** приведены и обсуждены результаты структурных исследований выбранных для исследований наполнителей, а также технология получения гибридных углеродных наноструктур на основе графена и углеродных нанотрубок. (УНТ). Автор на данном этапе предполагает получить с помощью гибридных наполнителей синергетический эффект по электропроводности в полимерной матрице: УНТ будут формировать линейные проводящие пути в полимере, а графен благодаря двумерной структуре обеспечит плоскостной перенос электрического заряда.

**В четвертой главе** приведены несколько способов введения наполнителей в полимерную матрицу и результаты исследований влияния содержания углеродных наноструктур различного типа на реологические и электропроводящие свойства композитов. Показано, преимущество двухстадийной технологии, обеспечивающей высокую электропроводность ПКМ. Установлено, что наилучший уровень электропроводящих и реологических свойств имеют ПКМ на основе ПДМС, модифицированного ОУНТ и Matrix. При этом разработанные гибридные наполнители имеют средние значения по электропроводности в сравнении с другими ПКМ, их динамическая вязкость зависит в основном от количества УНТ в составе гибридного наполнителя.

**Пятая глава** содержит данные о результатах исследования тензочувствительных свойств в режимах циклической деформации «нагружение-разгружение» при больших упругих



деформациях и изгибающих напряжениях. Выявлены закономерности изменения тензочувствительных свойств композитов на основе ПДМС от типа углеродных наноструктур. Для получения гибких упрочненных образцов ПКМ применена углеродная ткань Аспро А-60, для армированного материала также были исследованы электропроводность и тензочувствительность.

**В заключении** приведены основные выводы, полученные в результате выполнения диссертационной работы.

#### **Научная новизна исследований:**

1. Выявлены и количественно описаны взаимосвязи между способами диспергирования углеродных наноструктур в ПДМС и изменением электропроводности композитов. Установлено, что применение двухстадийного способа диспергирования для изготовления композита на основе ПДМС, модифицированного углеродными наноструктурами, обеспечивает увеличение электропроводности материала в 7 раз.

2. Установлены закономерности влияния исходных (ОУНТ, МУНТ, Matrix) и гибридных углеродных наноструктур (графен/ОУНТ, графен/МУНТ) на электропроводящие свойства композита, полученного двухстадийным способом.

3. Установлены закономерности влияния углеродных наноструктур различного типа на электропроводящие, реологические, механические, тензочувствительные свойства композита на основе ПДМС.

Теоретическая значимость работы состоит:

- в расширении знаний о влиянии способов диспергирования углеродных наноструктур в полимере на электропроводящие свойства ПКМ на основе ПДМС;
- в расширении знаний о взаимосвязи структуры углеродных наполнителей и тензочувствительных свойств разработанного ПКМ на основе ПДМС и углеродных наноструктур в режимах изгибающих напряжений и циклической деформации «нагружение-разгрузка».

**Практическая значимость результатов диссертационной работы** заключается в том, что впервые разработан гибкий наноконпозиционный материал на основе ПДМС со значением коэффициента тензочувствительности для эксплуатации при комнатной температуре.

Разработанный двухстадийный способ диспергирования углеродных наноструктур перспективен для использования при создании композитов на основе полимерных матриц с аналогичными реологическими свойствами.

Разработанные методики определения коэффициента тензочувствительности в режимах циклической деформации «нагружение-разгрузка» при больших упругих деформациях и

изгибающих напряжений расширяют возможности оценки функциональных свойств композитов при их эксплуатации.

Разработанный материал в качестве тензочувствительного элемента цифровой сенсорной системы для мониторинга напряженно-деформированного состояния конструкций прошел промышленные испытания в Красноярском отделении ОАО «РЖД». Результаты диссертационной работы прошли промышленную апробацию на АО «РЕШЕТНЁВ». Результаты диссертационной работы использованы в учебном процессе подготовки студентов института химических технологий СибГУ им. М.Ф. Решетнева по направлению 18.04.01 Химическая технология профиль «Инжиниринг полимерных материалов» (дисциплина «Перспективные материалы»).

Получено два патента РФ и свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ для мониторинга предотказного состояния рельсовых плетей с использованием наномодифицированных композиционных материалов.

#### **Вопросы и замечания по диссертационной работе:**

1) Автор предлагает использовать полидиметилсилоксан в качестве гибкой полимерной основы композита. Однако, было бы полезно провести анализ и аналогичные исследования свойств для других полимеров, которые также могут придавать конструкции гибкость, например, полиуретан, каучук, поливинилхлорид;

2) В главе 3 особое внимание автора уделено получению гибридных наполнителей, которые по предположению автора должны были проявить в полимерной матрице синергетический эффект по электропроводности. Однако это предположение в дальнейших исследованиях не подтвердилось. Я не считаю, это негативным результатом, тем не менее, по моему мнению, необходимо было сделать подробный анализ этого момента и предложить другой путь реализации эффекта или же не включать эти данные в работу.

3) Автором не предоставляется объяснение, почему при проведении исследований тензочувствительных свойств была выбрана концентрация 1 масс.% для углеродных нанотрубок;

4) В работе проведена оценка тензочувствительных свойств материала при комнатной температуре. Однако, было бы полезно провести аналогичную оценку в более широком температурном диапазоне.

5) При оценке тензочувствительных свойств не учтен такой важный параметр, как влажность.

6) В списке публикаций представлены два патента и свидетельство о госрегистрации программы ЭВМ. Однако в тексте диссертации они не указаны. Поэтому, только изучив текст



этих документов, можно понять, что они действительно относятся именно к этому исследованию.

7) В диссертации присутствуют технические неточности: опечатки, неудачные формулировки, приведен неполный список сокращений.

Представленные вопросы и сделанные замечания не снижают научной и практической значимости диссертационной работы и не изменяют её общую положительную оценку.

Структура, объем, изложение и оформление диссертационной работы соответствует существующим нормативным требованиям. Автор диссертационной работы выполнен значительный объем экспериментальных исследований с использованием современных методов исследования и приборов. Научные положения, выводы и заключения, сформулированные в диссертации Семенухи О.В., обоснованы и согласуются с общими положениями теории полимеров, взглядами отечественных и зарубежных специалистов. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Достоверность, новизна и корректность полученных в диссертационной работе результатов подтверждается публикацией 29 научных статей, в том числе 2 — в изданиях, входящих в международную базу данных Scopus, и 3 — в изданиях, рекомендованных перечнем ВАК РФ, полученными 2 патентами Российской Федерации на изобретение и Свидетельства о госрегистрации программы ЭВМ, а также апробацией на международных и всероссийских конференциях с публикацией 21 тезисов докладов

### **Заключение**

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 2.6.11. — «Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов»: п. 2 «Полимерные материалы и изделия: пластмассы, ... композиты, ... и прочие композиционные материалы, включая наноматериалы; свойства синтетических и природных полимеров, фазовые взаимодействия; исследования в направлении прогнозирования состав-свойства, технологии изготовления изделий и процессы, протекающие при этом; последующая обработка с целью придания специальных свойств; процессы и технологии модификации; ...», п. 4 «Физические, химико-физические и биотехнологические методы модификации синтетических и природных полимеров...», п. 6 «Полимерное материаловедение; ... разработка принципов и условий направленного и контролируемого регулирования состава и структуры синтетических и природных полимерных материалов для обеспечения заданных технологических и эксплуатационных свойств; ...испытание и определение физико-механических и эксплуатационных характеристик синтетических и природных полимерных материалов и изделий; ...».

Таким образом, на основании изложенного, считаю, что представленная к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук диссертация «Разработка и исследование тензочувствительных композитов на основе полидиметилсилоксана, модифицированного углеродными наноструктурами», в полной мере удовлетворяет всем требованиям пунктов 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (с изменениями и дополнениями), а её автор, Семенуха Оксана Викторовна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.11. – Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов.

Официальный оппонент:

Доктор технических наук (05.16.09 - Материаловедение (машиностроение), доцент по специальности

«Материаловедение (промышленность)»,

главный научный сотрудник лаборатории геологии месторождений нефти и газа ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр СО РАН»», обособленное подразделение Институт проблем нефти и газа Сибирского отделения Российской академии наук

*28.11.2025*

Соколова Марина Дмитриевна

Данные официального оппонента

Адрес: 677007, г. Якутск, ул. Петровского, д. 2.

Телефон: +7 (4112) 39 06 20

e-mail: marsokol@mail.ru

Подпись М. Д. Соколовой заверяю:

Главный ученый секретарь ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр СО РАН» кандидат технических наук

Лукачевская И.Г.

Я, Соколова Марина Дмитриевна, даю свое согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

*28.11.2025*