

## ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата технических наук, заведующего лабораторией «Полимерные композиционные материалы» передовой инженерной школы «Цифровой инжиниринг» ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого» Кобыхно Ильи Александровича 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

### **1. Актуальность темы.**

Диссертационная работа Семенухи О.В. посвящена актуальной теме разработки тензочувствительных композитов на основе полидиметилсилоксана, модифицированного углеродными наноструктурами. Современное развитие науки и техники диктует необходимость создания новых полимерных материалов, обладающих комплексом функциональных свойств, среди которых высокие электропроводность и тензочувствительность в сочетании с высокими механическими и технологическими свойствами, позволяющих использовать для их переработки современные способы. Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева».

### **2. Научная новизна результатов работы заключается в следующем:**

- 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;
- Установлены закономерности влияния исходных (ОУНТ, МУНТ, Matrix) и гибридных углеродных наноструктур (графен/ОУНТ, графен/МУНТ) на электропроводящие свойства композита, полученного двухстадийным способом;
- Установлены закономерности влияния углеродных наноструктур различного типа на электропроводящие, реологические, механические, тензочувствительные свойства композита на основе ПДМС.

**3. Практическая значимость** работы Семенухи О.В. является несомненной. В ходе работы впервые разработан был гибкий нанокпозиционный материал на основе ПДМС со значением коэффициента тензочувствительности для эксплуатации при комнатной температуре:

- в режиме циклической деформации «нагружение-разгружение» на 25% около 0,4 и 1,0 для ОУНТ и МУНТ, соответственно;
- в режиме циклической деформации «нагружение-разгружение» на 25% около 1,0 и 0,7 для графен/ОУНТ и графен/МУНТ, соответственно;
- в режиме изгибающих напряжений около 2 для ОУНТ в виде мастербатча.

Разработанный двухстадийный способ диспергирования углеродных наноструктур может быть использован при создании композитов на основе полимерных матриц с аналогичными реологическими свойствами.

#### **4. Обоснованность научных положений, выводов, рекомендаций и достоверность полученных результатов**

Достоверность результатов исследования и обоснованность научных положений и выводов не вызывает сомнений, и обеспечена применением современных методов анализа и стандартизованных методик измерения механических свойств материала (просвечивающий электронный микроскоп HT7700 (Hitachi Ltd, Япония) и спектрометр комбинационного рассеяния (КР) света T64000 Horiba Jobin Yvon (Франция), анализатор газовой сорбции ASAP-2420 (Micromeritics, США), сканирующий электронный микроскоп (СЭМ) SEM S-5500 (Hitachi Ltd, Япония), ротационный реометр DHR-2 (TA Instruments, США).

О достоверности результатов работы также свидетельствуют их обсуждение на конференциях различного уровня (в том числе и международных) и наличие 29 научных работ по теме исследования, из которых 3 статьи в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК Российской Федерации (2 статьи, индексируемых в базах Web of Science и Scopus).

Таким образом, можно утверждать, что результаты диссертационной работы Семенухи О.В. надежны, достоверны, а выводы и положения на их основе являются обоснованными.

#### **5. Структура и содержание работы**

Диссертационная работа имеет традиционную структуру и включает в себя введение, 5 глав, посвященных обзору литературы, описанию методов и объектов исследования и экспериментальных результатов, выводов и списка использованных источников. Общий объем диссертации составляет 121 страницу. Качественно

выполненный иллюстративный материал включает 36 рисунков и 7 таблиц. Список литературы состоит из 169 цитируемых источников.

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

В первой главе исследования приведен обзор научной, технической и патентной литературы в области электропроводящих и тензочувствительных свойств композитов с углеродными наноструктурами.

Вторая глава содержит характеристики используемых материалов, приведены методы исследований и испытаний.

В третьей главе представлены результаты исследования исходных углеродных наноструктур и представлена технология получения гибридных углеродных наноструктур.

В четвертой главе описано влияния способа диспергирования углеродных наноструктур на электропроводящие свойства разработанных композитов. Показано влияние содержания углеродных наноструктур различного типа на электропроводящие свойства композитов, а также приведены результаты исследования распределения углеродных наноструктур в полидиметилсилоксане.

В пятой главе приведены результаты исследований тензочувствительных и физико-механических свойств композитов на основе полидиметилсилоксане.

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

**Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертации:**

Результаты и выводы, полученные в диссертационной работе, рекомендованы для использования в ходе исследований и разработок изделий из полимерных композиционных материалов, наполненных как исходными углеродными наноструктурами (графен, одностенные и многостенные углеродные нанотрубки), так и гибридными наноматериалами на их основе.

#### **6. Замечание по диссертационной работе**

Несмотря на общую положительную оценку работы, следует отметить ряд замечаний:

1) Не предоставляются данные по исследованию структуры исходных углеродных наноматериалов методом рентгеновской дифрактометрии после механического воздействия при создании гибридного углеродного наполнителя для оценки повреждения графена и углеродных нанотрубок;

2) Автором не предоставляется оценка влияния различных концентраций графена и углеродных нанотрубок на механизмы электропроводности композитов. Так при модификации ПДМС одностенными углеродными нанотрубками порог перколяции значительно снижается до значений от 0,05 до 0,3 масс.%, а для МУНТ происходит увеличение порога перколяции до 1 до 1,5 масс.%;

3) Автором не представлены данные СЭМ с исходными углеродными наноструктурами для демонстрации их распределения в ПДМС;

4) В работе встречаются стилистические ошибки.

Необходимо подчеркнуть, что указанные замечания не снижают уровень диссертационной работы и общего положительного впечатления.

### **7. Оформление диссертации**

Диссертация оформлена в соответствии с требованиями ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям (ГОСТ Р 7.0.11-2011). Материал диссертации изложен последовательно, логично и грамотным техническим языком. Автореферат диссертации соответствует её содержанию.

### **8. Публикации по работе**

Материалы диссертационной работы изложены в 29 научных публикациях, в том числе в 3 статьях в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК, рекомендуемых для размещения материалов диссертаций, из них 2 статьи, входящие в международную базу данных Scopus, 2 патента Российской Федерации, 1 свидетельство на программу для ЭВМ, 21 доклад Международных и Всероссийских конференций.

**9. Соответствие паспорту специальности.** Диссертационная работа по своим целям, задачам, содержанию, методам исследования и научной новизне соответствует паспорту научной специальности 2.6.11 «Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов» (п. 2, 4, 6).

### **10. Заключение**

Диссертация Семенухи О.В. является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне и содержащей новые научно обоснованные технические решения. Основные выводы диссертации обоснованы и логично вытекают из содержания работы.

Диссертационная работа «Разработка и исследование тензочувствительных композитов на основе полидиметилсилоксана, модифицированного углеродными наноструктурами» соответствует 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:

Кандидат технических наук (2.6.5 – Порошковая металлургия и композиционные материалы), заведующий лабораторией «Полимерные композиционные материалы» передовой инженерной школы «Цифровой инжиниринг» ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Данные официального оппонента

Адрес: 195251, г. Санкт-Петербург, вн. тер. г.

муниципальный округ Академическое, ул.

Политехническая, д.29 литера Б

Телефон: +7 (812) 297-20-95

e-mail: ilya.kobykhno@gmail.com

Подпись И.А. Кобыхно заверяю:

Я, Кобыхно Илья Александрович, даю своё согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Подпись Кобыхно Илья Александрович  
УДОСТОВЕРЯЮ

11.11.2025<sub>2</sub>

Секретариат  
Диссертационного совета