

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет
имени М.К. Аммосова»
Институт естественных наук
Химическое отделение

СТЕПАНОВА ВАРВАРА ДМИТРИЕВНА

**СПОСОБЫ АКТИВАЦИИ МНОГОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК В
УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ВАННЕ**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание степени магистра
Направление подготовки 04.04.01 Химия.
Химическое материаловедение

Якутск, 2021

Общая характеристика работы

На сегодняшний день освоение природных ресурсов Арктических регионов является наиболее важной задачей во многих развитых странах. В Республике Саха (Якутия) интерес к созданию резин, эксплуатирующийся при низких температурах отражен в документе «Стратегии социально-экономического развития Арктической зоны Республики Саха (Якутия) на период до 2035 года». Интенсивное развитие машино-, судо- и авиастроения, а также других отраслей промышленности в РФ, требует создания и внедрения морозостойких эластомерных композиционных материалов. Особое внимание уделяется созданию резинотехнических изделий, которые могут сохранять работоспособность при экстремальных перепадах температур.

Актуальность данной работы отражена в документе, принятом Правительством РФ от 01.12.2016 г. № 642 «О Стратегии научно – технологического развития Российской Федерации», в котором приоритетным направлением считается освоение Арктики, в целях эффективного использования и развития ресурсной базы, и транспортной системы и разработка морозостойких и износостойких полимерных композиционных материалов.

Выбор матрицы каучука имеет особую значимость для создания морозостойких резин на их основе.

В данной работе в качестве эластомерной матрицы был выбран эпихлоргидриновый каучук (ЭПХГ) марки HYDRIN T6000 производства компании ZEON (Япония) - это продукт сополимеризации эпихлоргидрина, пропиленоксида с аллилглицидиловым эфиром.

Данная марка ЭПХГ каучука занимает особое положение в ряду топливо- и термостойких каучуков специального назначения: он обладает сочетанием таких свойств, как бензо-, термостойкость. Область температурной эксплуатации составляет от -60°C до $+135^{\circ}\text{C}$ [4]. Недостатком резин на основе ЭПХГ является их низкая износостойкость.

В настоящее время в целях повышения эксплуатационных характеристик резинотехнических изделий уплотнительного назначения совершенствуют рецептуры резиновых смесей. Одним из многообещающих направлений исследований, является создание полимерных композиционных материалов на основе углеродных нанотрубок. Модификация полимерной матрицы углеродными нанотрубками приводит эксплуатационных свойств.

Известно, что длительное хранение нанодисперсных наполнителей приводит к снижению удельной поверхности нанонаполнителя за счет повышения размера частиц вследствие процессов агломерации. Для эффективного использования нанонаполнителей в составе полимерных материалов после их длительного хранения необходимо восстановить первоначальную степень дисперсности, которая достигается разными способами, например, активированием нанотрубок в ультразвуковой ванне.

Цель работы: разработать технологию ультразвуковой активации углеродных нанотрубок и изучить свойства резин на основе ЭПХГ, модифицированных ими.

Задачи:

1. Определить наилучшее сочетание марки ТУ и УНТ для разработки морозостойких резин на основе ЭПХГ;
2. Исследовать структуру и химический состав агломерированных УНТ;
3. Разработать технологию обработки нанотрубок - активация УЗ - и изготовить резиновые смеси с различным содержанием УНТ;
4. Изучить физико-механических свойств и износостойкости исследуемых резин;
5. Изучить поверхность модифицированного эластомерного материала методом растрового электронного микроскопа.

Научная новизна

Проведено сопоставление свойств, модифицированных одностенными и многостенными углеродными нанотрубками и наполненных разными марками

технического углерода такими как К-354, N-550 и П-803 резин на основе эписхлоргидринового каучука. Исследовано влияние одностенных (ОУНТ) и многостенных (МУНТ) углеродных нанотрубок на свойства резин на основе ЭПХГ каучука.

Сопоставление полученных результатов модифицированных резин на основе ЭПХГ каучука показало, что введение малых концентраций углеродных нанотрубок существенно улучшает эксплуатационные свойства резин.

Практическая значимость полученных результатов

На основании полученных результатов можно сказать, что введение углеродных нанотрубок в резиновые смеси на основе эписхлоргидринового каучука позволит получать резинотехнические изделия с улучшенными эксплуатационными свойствами.

Достоверность и обоснованность результатов

Достоверность результатов исследования обосновывается использованием стандартных методов исследования с применением современного лабораторного оборудования. Вся экспериментальная часть работы была выполнена на базе Арктического инновационного центра в УНТЛ «Технологии полимерных наноконструктов».

Апробация работы

Основные результаты диссертационной работы представлены на XXVIII Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов - 2021».

Структура и объем работы

Магистерская диссертационная работа состоит из: введения, литературного обзора (глава 1), объектов и методов исследования (глава 2), экспериментальной части (глава 3), выводов и списка использованной литературы. Работа изложена на 65 страницах машинописного текста, включающая 32 рисунков, 11 таблиц, список литературы из 80 наименований.

Содержание работы

Первая глава посвящена обзору литературных источников по теме диссертации. Описаны сведения об одностенных и многостенных углеродных нанотрубках, проблема агломерации и способы борьбы с этим процессом.

Во второй главе описаны объекты и методы исследований. В качестве эластомерной матрицы был выбран эписхлоргидриновый каучук марки HYDRIN T6000.

Данная марка ЭПХГ каучука занимает особое положение в ряду топливо- и термостойких каучуков специального назначения: он обладает сочетанием таких свойств, как бензо-, термостойкость и главную очередь обладает высокой морозостойкостью, область температурной эксплуатации составляет от -60°C до $+135^{\circ}\text{C}$.

Использование в качестве наполнителя углеродных нанотрубок является одним из методов получения резин с улучшенными техническими характеристиками.

Особенностью одностенных углеродных нанотрубок является низкое количество примесей и высокое качество SWCNT (single-walled carbon nanotubes), что позволяет их называть универсальными.

Особенность многостенных углеродных нанотрубок производства ResearchCenter for Radiation Application, Китай является высокое содержание кислорода, т.е. они были специально функционализированы, что позволяет ожидать улучшения свойств резин.

В рамках работы были приготовлены три партии резиновых смесей, с использованием трех марок ТУ с разной дисперсностью, для определения наилучшего взаимодействия с УНТ с целью повышения эксплуатационных свойств резин на основе ЭПХГ.

Технический углерод К-354 — канальный, активный, получаемый в диффузионном пламени при термоокислительном разложении природного или попутного газа и осаждении на охлаждающих лотках (каналах). Относится к активным маркам технического углерода и характеризуется высоким показателем дисперсности и низким показателем структурности. Высокодисперсный усиливающий наполнитель и пигмент.

Технический углерод N-550 – быстроэкструдированный печной, полуусиливающий технический углерод, придает резинам среднюю жесткость и упругость. Это среднедисперсный, среднеусиливающий технический углерод. Способствует повышению экструзионной способности и сопротивляемости раздиру резин. Технический углерод (сажа) представляет собой высокодисперсное углеродистое вещество, вырабатываемое при частичном сгорании или термическом разложении углеводородов, находящихся в промышленных, природных газах, жидких нефтепродуктах, каменном угле.

Технический углерод П-803 – печной, малоактивный техуглерод, получают при термоокислительном разложении жидкого углеводородного сырья, с низким показателем дисперсности и средним показателем структурности.

Исследуемые резиновые смеси готовили стандартным способом в резиносмесителе пластикордере «Брабендер» при температуре 50°C и частоте вращения валов 40 об/мин в течение 15 мин. Вулканизацию проводили на гидравлическом прессе ПКМВ-100, в соответствующих формах, в течение 50 минут при температуре 140°C и с давлением 8 тонн.

При проведении исследований использовали следующие методы исследований и оборудование: физико-механические свойства исследованы в соответствии с ГОСТ 270-75 на разрывной машине Autograph AGS-J. Определение остаточной деформации сжатия проводили в соответствии с ГОСТ 9.029-74 при 100°C в течение 72 часов. Износостойкость резин оценивали по ГОСТ 426-77 на абразивной машине МИ-2.

Экспериментальная часть работы по разработке рецептур резиновых смесей и их модификаций была проделана на базе Арктического инновационного центра.

В третьей главе приведены результаты исследований и их обсуждение. Серию исследований начали с определения физико-механических свойств.

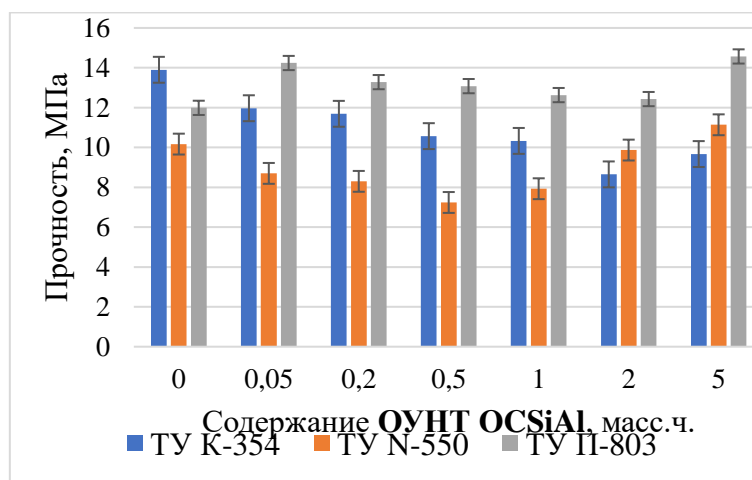


Рисунок 1- Условная прочность резин на основе ЭПХГ Hydrin T6000, наполненных разными марками ТУ и ОУНТ OCSiAl

Первая партия резин на основе ЭПХГ (рис. 1), содержащая ОУНТ, была наполнена ТУ марки К-354. Исследование условной прочности при растяжении показало, что по мере увеличения содержания ОУНТ прочность исследуемых резин имеет тенденцию к снижению. Исходная резина, содержащая 0 масс.ч. ОУНТ имеет прочность 14 МПа, при постепенном увеличении ОУНТ прочность модифицированных резин падает на 35%.

У резиновых смесей содержащих ТУ марки N-550, модифицированных ОУНТ, условная прочность проходит через минимум до концентрации 0,5 масс.ч. ОУНТ показатель достигает своего минимума - снижение составляет 30 %, по сравнению с исходной резиной. Дальнейшее повышение содержания ОУНТ ведет к росту прочности резин, при максимальном содержании ОУНТ (5 мас.ч.) значение выходит на первоначальный уровень.

Третья партия резин на основе ЭПХГ, содержащая ОУНТ, была наполнена ТУ марки П-803. На рисунке 14 видно, что при введении незначительного количества ОУНТ (0,05 масс.ч.) уже происходит повышение прочности по сравнению с исходной резиной на 14 % и при дальнейшем повышении ОУНТ этот эффект сохраняется.

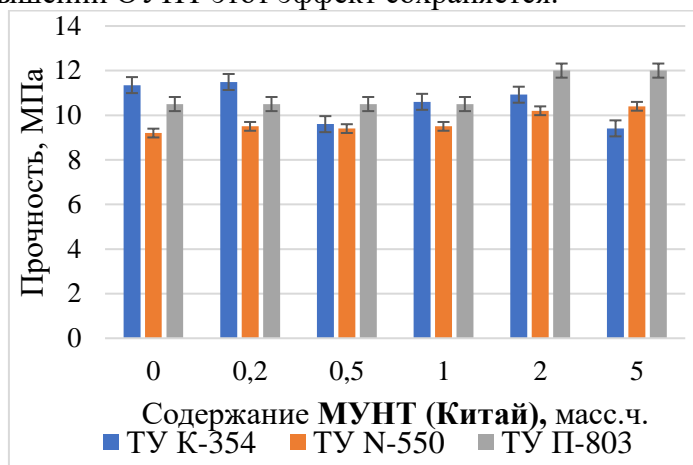


Рисунок 2 - Условная прочность резин на основе ЭПХГ Hydrin T6000, наполненных различными марками ТУ и МУНТ

Исследование условной прочности при растяжении резин на основе ЭПХГ, модифицированных МУНТ и наполненных ТУ марки К-354 показало, что по мере увеличения содержания МУНТ прочность исследуемых резин снижается на 17%, по сравнению с исходным значением (рис. 2).

Вторая партия резиновых смесей была наполнена ТУ марки N-550 и при увеличении содержания МУНТ прочность при растяжении увеличилось на 13%.

У резиновых смесей, содержащих ТУ П-803 условная прочность возрастает с увеличением содержания МУНТ. Для резин на основе ЭПХГ при введении 5 масс. ч. МУНТ этот показатель возрастает на 14%, по сравнению с исходным значением (Рис.2).

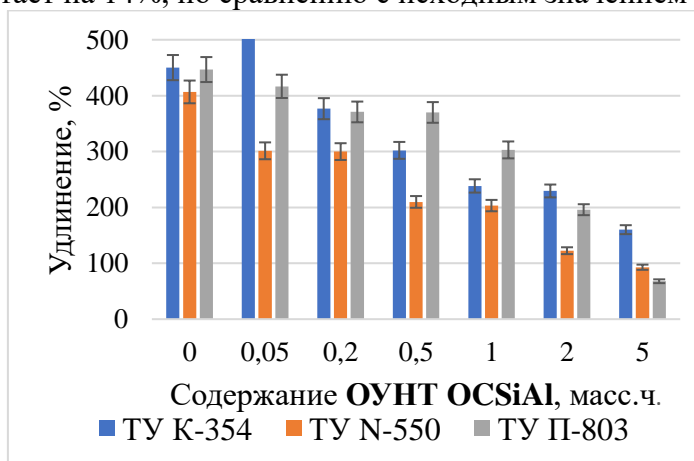


Рисунок 3 – Относительное удлинение резин на основе ЭПХГ Hydrin T6000, модифицированных ОУНТ OCSiAl и наполненные различными марками ТУ

Исследование относительного удлинения для каждой партии резин на основе ЭПХГ с одностенными углеродным нанотрубками показало, что с увеличением содержания УНТ происходит снижение данного показателя независимо от марки техуглерода (рис. 3). Для резин, наполненных ТУ К-354, до 0,5 масс.ч. ОУНТ ϵ_r снижается незначительно, а при введении 1 масс.ч. УНТ наблюдается резкое снижение на 33%, при максимальном содержании ОУНТ (5 масс.ч.) снижение составляет на 66% (160,19).

Для резин, наполненных ТУ марки N-550, при введении 0,05 масс.ч. ОУНТ происходит ухудшение относительного удлинения на 25%, при дальнейшем повышении содержания ОУНТ ухудшение составляет 75%, по сравнению с исходными данными.

Из рисунка 3 видно, для резин, содержащих ТУ марки П-803 по мере содержания ОУНТ относительное удлинение снижается постепенно; при максимальном содержании ОУНТ происходит резкое снижение на 88%.

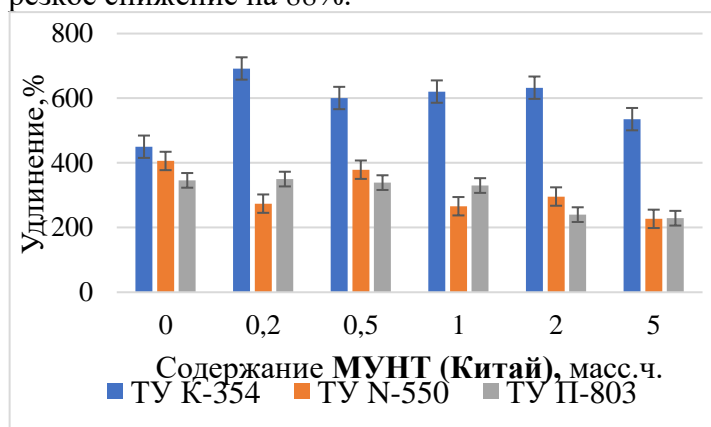


Рисунок 4 - Относительное удлинение при разрыве резин на основе ЭПХГ Hydrin T6000, МУНТ (Китай) и наполненные различными ТУ

Для резин на основе ЭПХГ, модифицированных углеродными нанотрубками китайского производства и наполненные техуглеродами марки N-550 и П-803 наблюдается монотонный характер снижения относительного удлинения, снижается на 44% и 33%, по сравнению с исходными значениями (рис 4).

Для резин, наполненных ТУ марки К-354 относительное удлинение при введении МУНТ улучшается на 53% и при дальнейшем повышении УНТ этот эффект сохраняется.

Степень набухания резин считается важным показателем для резин уплотнительного назначения. По нему можно определить наличие пространственных связей, которые не дают молекулам переходить в раствор.

На рисунке 5 представлены результаты данных резин в масле ВМГЗ и в зависимости от марки техуглерода имеют разные степени набухания.

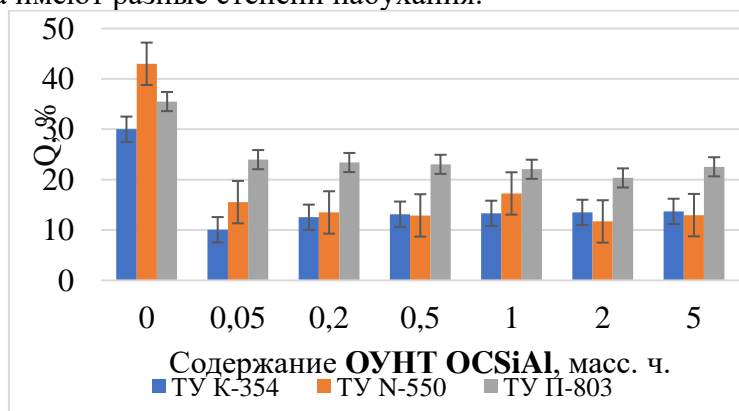


Рисунок 5 - Степень набухания резин на основе ЭПХГ Hydrin T6000, модифицированных одностенными углеродными нанотрубками OCSiAl и наполненные разными марками ТУ

Наиболее сильному набуханию подвержены резины, наполненные ТУ N-550 степень набухания, составляет 43% при введении 0,05 масс.ч. ОУНТ улучшается на 72%. Для резин, наполненных ТУ К-354 степень набухания улучшается на 66%, ТУ П-803 понижается на 42%, по сравнению с исходными данными.

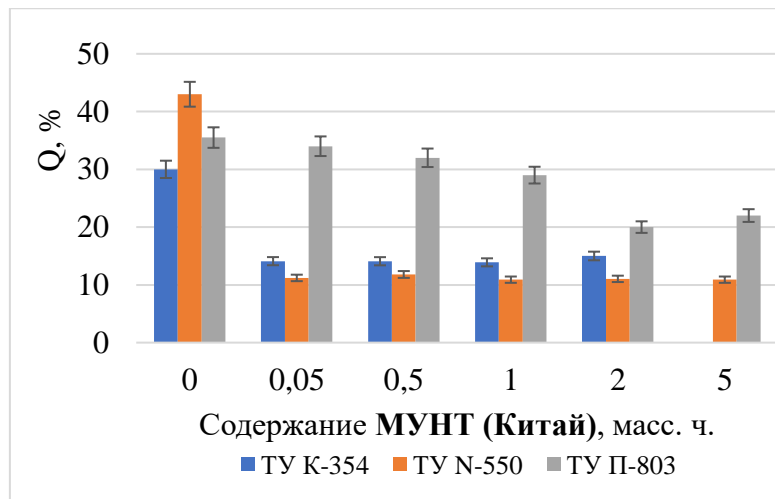


Рисунок 6 - Степень набухания резин на основе ЭПХГ Hydrin T6000, модифицированные многостенными углеродными нанотрубками (Китай) и наполненные разными марками ТУ

У вулканизатов резин на основе ЭПХГ при введении незначительного количества МУНТ наблюдается понижение степени набухания для всех исследуемых партий. Для резин, наполненных ТУ марки К-354 и N-550 при незначительном добавлении МУНТ (0,05масс. ч.) степень набухания сразу понижается на 53% и 74%, соответственно. Для резин, наполненных ТУ марки П-803, понижение степени набухания имеет монотонный характер, улучшение на 43% достигается при введении 2 масс.ч. МУНТ (Рис.6).

При долгой эксплуатации РТИ подвержены абразивному изнашиванию. Поэтому одной из главных задач данной работы является улучшение износостойкости вулканизатов на основе эпихлоргидринового каучука марки Hydrin T6000. Сопротивление абразивному износу в большинстве случаев зависит от марки техуглерода.

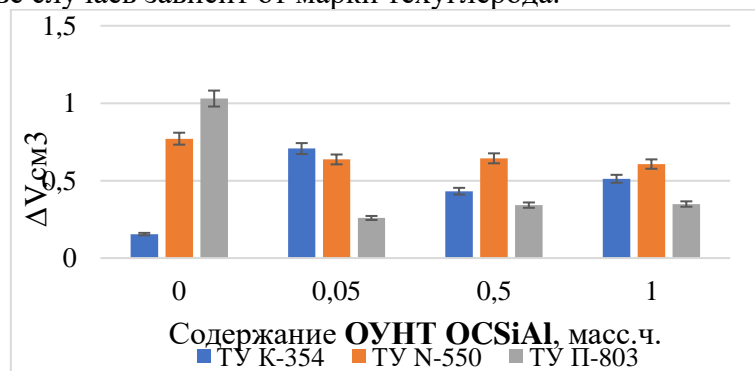


Рисунок 7 - Объемный износ резин на основе ЭПХГ Hydrin T6000, модифицированных ОУНТ OCSiAl и наполненные различными ТУ

Исследование ΔV данных РТИ показало, что по мере увеличения содержания ОУНТ для резин, наполненных ТУ К-354 износостойкость ухудшается. Для резин с ТУ N-550 объемный износ улучшается на 21%. Наилучшие результаты получены при введении ОУНТ для резин, наполненных ТУ П-803: при введении 0,05 масс.ч. износостойкость улучшается на 74%, по сравнению с исходным значением (рис. 7).

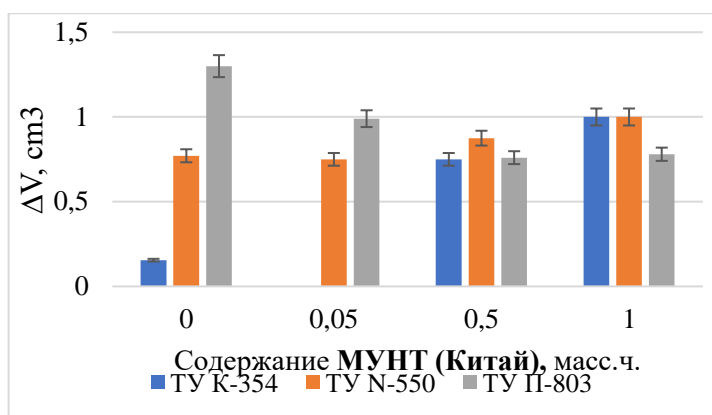


Рисунок 8 - Объемный износ резин на основе ЭПХГ Hydrin T6000, модифицированных МУНТ (Китай) и наполненные разными марками ТУ

Были проведены исследования на износостойкость при абразивном изнашивании (рис. 8) для резин на основе ЭПХГ, модифицированных МУНТ. Также, как и для ОУНТ, при введении МУНТ для резин, наполненных ТУ К-354, происходит существенное ухудшение износостойкости. Для резин, наполненных ТУ N-550, по мере повышения содержания МУНТ, наблюдается некоторое снижение износостойкости. Наилучшие результаты получены для резин, наполненных ТУ марки П-803: при введении 0,5 масс.ч. МУНТ износостойкость улучшается на 42%, по сравнению исходными значениями.

Для резин уплотнительного назначения одним из основных требований является обеспечение герметичности в период эксплуатации изделия. Это свойство можно изучить методом остаточной деформации после сжатия.

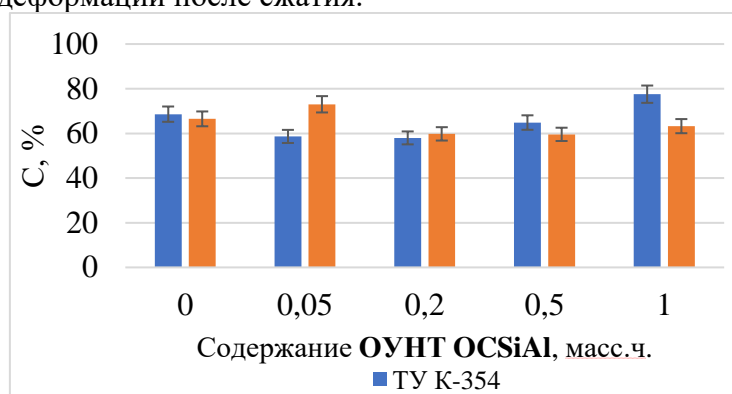


Рисунок 9 - Остаточная деформация сжатия резин на основе ЭПХГ Hydrin T6000, модифицированных ОУНТ OCSiAl и наполненные разными марками ТУ

При анализе результатов исследований по изучению остаточной деформации сжатия исследуемых резин на основе ЭПХГ установлено положительное влияние малых концентраций ОУНТ на релаксационные свойства разработанных материалов, наполненных ТУ К-354 и ТУ N-550, при этом ОДС улучшается на 15% и 10 % по сравнению с исходными данными (рис. 9).

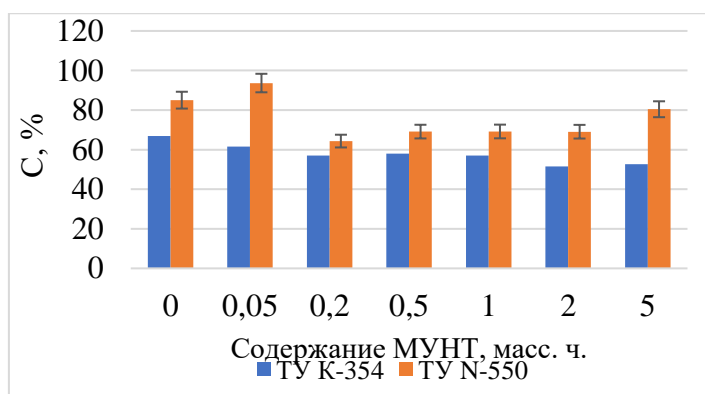


Рисунок 10 - Остаточная деформация сжатия резин на основе ЭПХГ Hydrin T6000, модифицированных МУНТ (Китай) и наполненные разными марками ТУ

При введении МУНТ в резиновую смесь на основе ЭПХГ остаточная деформация сжатия для резин понижается. Для резин наполненных ТУ марки К-354 при введении 2 масс.ч. МУНТ ОДС улучшается на 24%. Для резин, наполненных ТУ средней активности марки N-550, улучшение ОДС на 25%. наблюдается при введении 0,2 масс.ч. МУНТ, по сравнению с исходными значениями (рис. 10).

В предыдущей главе установили эффективность введения углеродных нанотрубок для улучшения эксплуатационных свойств резин на основе ЭПХГ. Однако, известно, что при длительном хранении нанонаполнителей происходит агломерация частиц, которая является причиной уменьшения их удельной поверхности. Для эффективного использования нанонаполнителей в составе полимерных материалов после их длительного хранения необходимо восстановление первоначальной степени дисперсности с помощью специально подобранных технологических приемов, например, путем ультразвуковой обработки. В рамках данной главы рассмотрели влияние агломерированных УНТ на свойства, разработанных резин и способы их обработки в УЗ-ванне.

Методом БЭТ установлено, что удельная поверхность для ОУНТ уменьшается после одного года хранения практически в 2 раза (с 490 до 265 м²/г). Этими же процессами объясняется увеличение среднего диаметра нанотрубок по сравнению с паспортными данными.

Таблица 1

Результаты структурных исследований углеродных нанотрубок разных производителей

Параметр	До		Результат	
	ОУНТ (OCSiAl)	МУНТ (Китай)	ОУНТ (OCSiAl)	МУНТ (Китай)
Средний диаметр, нм	15-50	20-47	5-50	20-47
Длина УНТ, мкм	>5	8-30	>5	8-30
Удельная площадь поверхности м ² /г	490	> 170	~265	> 170

В рамках работы было рассмотрено влияние ультразвуковой обработки углеродных нанотрубок на УЗ-генераторе И-10. Для определения оптимального режима УЗ-обработки были рассмотрены различные режимы активации: по времени и по мощности воздействия УЗ-волны. После обработки ультразвуком, размерность углеродных нанотрубок исследовали с помощью анализатора размеров частиц и молекул на приборе Malvern Zetasizer Nano ZS. Определили размер частиц одностенных и многостенных углеродных нанотрубок после активации в УЗ-ванне от 1 до 5 мин.

Размерность углеродных нанотрубок после УЗ-обработки

Время обработки	Мощность ультразвуковой обработки 20 кГц	
	Размерность, нм	Содержание частиц в фазе, %
1 мин	358,5	100
2 мин	260	100
3 мин	447,1	100
4 мин	537,5	100
5 мин	317	100

С помощью электронного микроскопа JSM-7800F LV фирмы JEOL была изучена структура углеродных нанотрубок до и после УЗ-обработки (рис. 11).

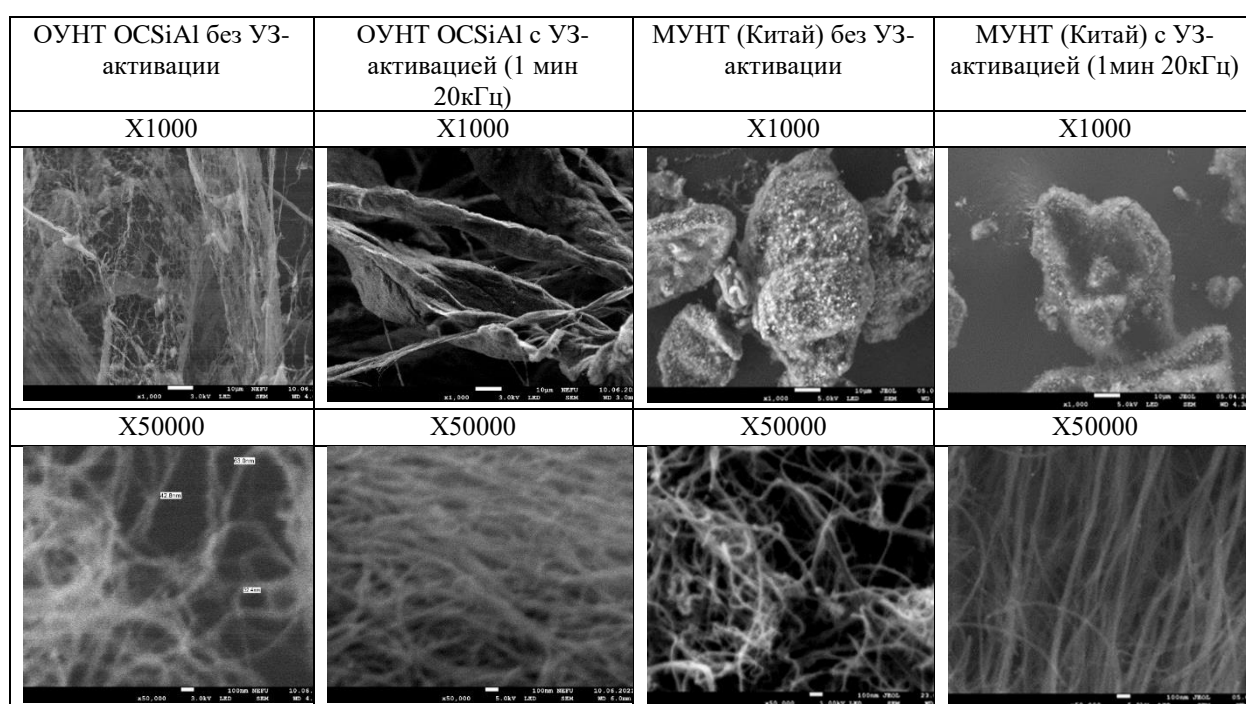


Рисунок 11 – Электронные микрофотографии углеродных нанотрубок

Таким образом, было изучено влияние ультразвуковой обработки на структуру УНТ. В результате воздействия наблюдается разрыхление поверхности и ориентация УНТ по направлению действия волны: чем дольше воздействие, тем ориентация более выражена. По результатам исследований было подобрано оптимальное время и мощность УЗ-обработки УНТ- 1 минута/20кГц.

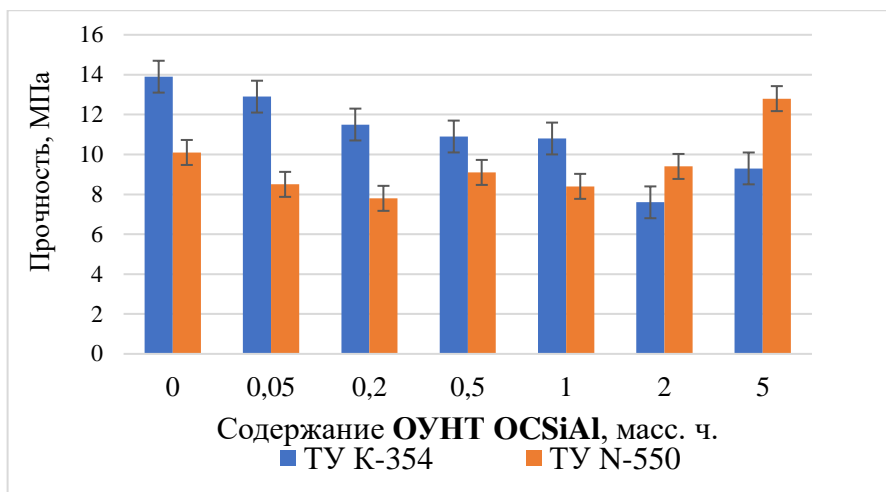


Рисунок 12 - Условная прочность резин на основе ЭПХГ Hydrin T6000, модифицированных ОУНТ OCSiAl, обработанными УЗ-волной.

При введении ОУНТ OCSiAl с ультразвуковой активацией в резиновую смесь на основе ЭПХГ прочность при разрыве для резин, наполненных ТУ K-354 снижается на 45%. Для резин с ТУ N-550 при введении до 0,2 масс.ч. ОУНТ снижает прочность на 22%, а при дальнейшем увеличении содержания ОУНТ введет к повышению условной прочности на 26%, по сравнению с исходными значениями (рис. 12).

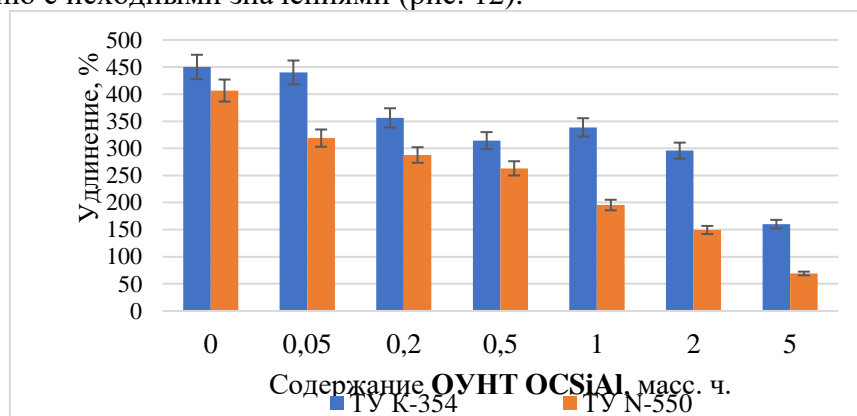


Рисунок 13 - Относительное удлинение при разрыве резин на основе ЭПХГ Hydrin T6000, модифицированных ОУНТ OCSiAl, обработанными УЗ-волной.

Относительное удлинение для резин, модифицированных однослойными углеродными нанотрубками активированными в УЗ-ванне, наполненных ТУ марки K-354 и N-550 понижается (рис. 13).

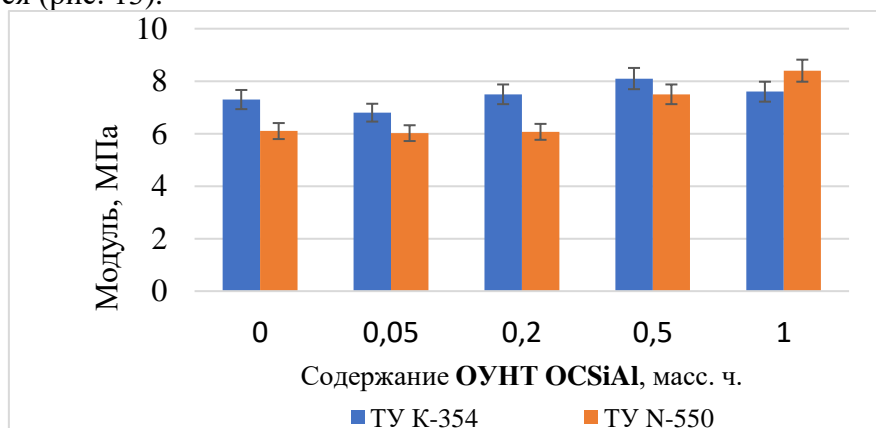


Рисунок 14 - Модуль при 100% удлинении резин на основе ЭПХГ Hydrin T6000, модифицированные ОУНТ OCSiAl, обработанные УЗ-волной

Модуль при разрыве для вулканизатов резин на основе ЭПХГ наполненных ТУ К-354 и N-550 с повышением содержания ОУНТ с уз-активацией повышается (рис. 14).

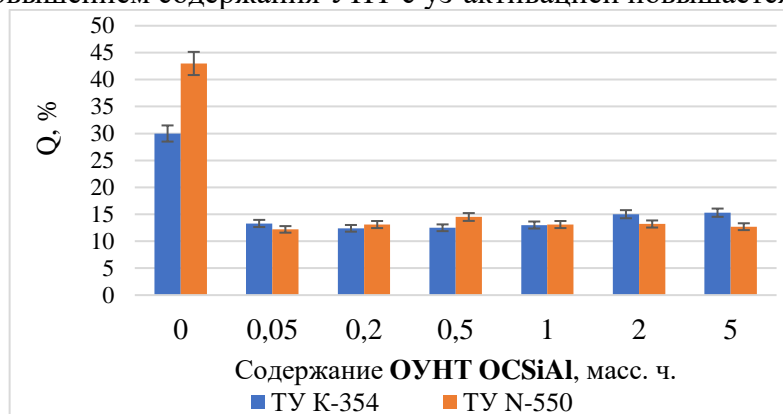


Рисунок 15 - Степень набухания резин на основе ЭПХГ Hydrin T6000, модифицированных ОУНТ OCSiAl с УЗ-активацией и наполненные разными марками ТУ

Степень набухания для резин на основе ЭПХГ с УЗ-обработкой по мере содержания ОУНТ идет к понижению на 55% при 0,05 масс. ч. ОУНТ наполненных ТУ марки К-354. Для резин, наполненных ТУ N -550 снижение составляет 71% при 0,05 масс.ч. ОУНТ (рис. 15).

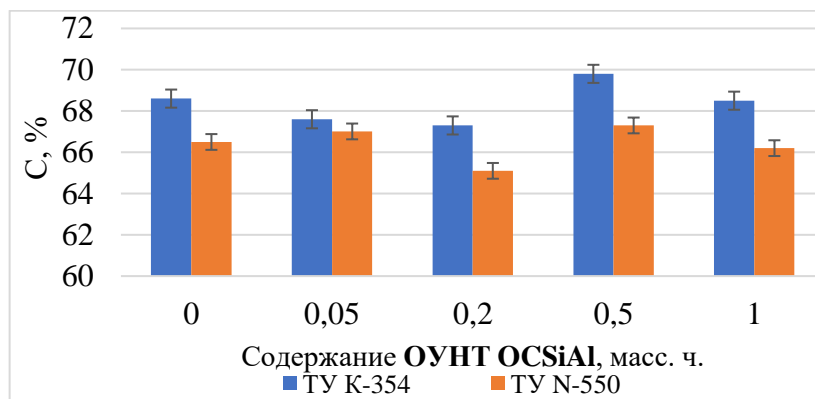


Рисунок 16 - Остаточная деформация сжатия резин на основе ЭПХГ Hydrin T6000, модифицированных ОУНТ OCSiAl с УЗ-активацией и наполненные различными ТУ

Анализ результатов исследований на остаточную деформацию сжатия, исследуемых резин на основе ЭПХГ, показало положительное влияние малых концентраций ОУНТ на релаксационные свойства разработанных материалов, наполненных ТУ К-354 и ТУ N-550, при этом ОДС улучшается на 15% и 10 % соответственно.

Морозостойкость резин оценивали по изменению коэффициента морозостойкости по эластическому восстановлению после сжатия (K_B). Для исследования были выбраны точки -25°C и -50°C , которые характерны для большей части России и для Крайнего Севера.

По данным исследований, которые приведены в таблице 3, 4, наилучшими свойствами обладают резины, наполненные техническим углеродом марки П-803 с активацией в УЗ-ванне.

Таблица 3

Коэффициент морозостойкости резин на основе ЭПХГ модифицированных одностенными углеродными нанотрубками OCSiAl при -25°C и -50°C

Исследуемые образцы резин, масс. ч.	ТУ К-354		ТУ N-550		ТУ П-803	
	УНТ без активации	УНТ с активацией	УНТ без активации	УНТ с активацией	УНТ без активации	УНТ с активацией
При -25°C						
0	0,69		0,82		0,86	
0,2	0,84	0,82	0,90	0,88	0,88	0,95
1,0	0,84	0,76	0,83	0,88	0,86	0,92
При -50°C						
0	0,46		0,63		0,72	
0,2	0,69	0,63	0,33	0,86	0,74	0,86
1,0	0,06	0,70	0,53	0,65	0,65	0,76

Таблица 4

Коэффициент морозостойкости резин на основе ЭПХГ модифицированных многостенными углеродными нанотрубками (Китай) при -25°C и -50°C

Исследуемые образцы резин, масс. ч.	ТУ К-354	ТУ N-550	ТУ П-803	
	УНТ без активации	УНТ без активации	УНТ без активации	УНТ с активацией
При -25°C				
0	0,69	0,82	0,86	
0,2	0,56	0,78	0,87	0,95
1,0	0,68	0,72	0,89	0,92
При -50°C				
0	0,46	0,63	0,72	
0,2	0,69	0,73	0,83	0,86
1,0	0,78	0,72	0,85	0,89

Для объяснения улучшения морозостойкости рассмотрели поверхность модифицированных резин на электронном микроскопе Jeol (рис. 17). Наблюдается взаимодействие между каучуком и МУНТ, что подтверждается данными электронной микроскопии. Были проанализированы образцы резин на основе ЭПХГ, модифицированных 2 масс. ч. МУНТ. Проанализировав полученные результаты установили, что оптимальный комплекс эксплуатационных показателей получен при введении 2 масс. ч. МУНТ, активированных в течение 1 минуты (20 кГц). При этом происходит сглаживание границы раздела фаз, разглаживание микрорельефа поверхности эластомерного материала, что, по-видимому является причиной улучшения морозостойкости и износостойкости модифицированных резин.

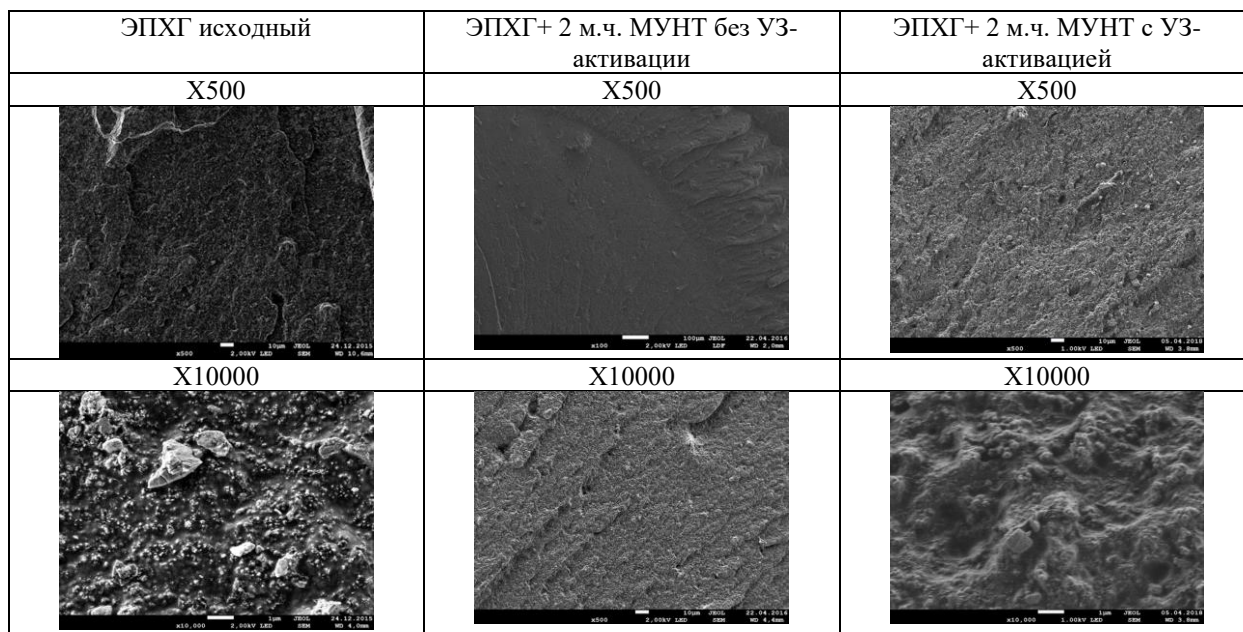


Рисунок 17 – Электронные микрофотографии модифицированных резин на основе ЭПХГ

В выводах сформулированы основные результаты работ:

1. Исследовано влияние продолжительного хранения УНТ на их структуру, изучен элементный состав, получены электронные микрофотографии нанотрубок при различных увеличениях.
2. Изучено влияние ультразвуковой обработки на структуру УНТ. В результате воздействия происходит разрыхление поверхности и ориентация УНТ по направлению действия волны; чем дольше воздействие, тем ориентация более выражена. Подобрана оптимальное время и мощность УЗ-обработки УНТ (1 минута/20кГц).
3. Анализ влияния различных марок ТУ на свойства резин на основе ЭПХГ каучука, модифицированных ОУНТ, показало, что ОУНТ эффективно использовать с мало дисперсной маркой ТУ П-803. По – видимому, они не конкурируют между собой и при введении незначительного количества (0,05 масс.ч) ОУНТ происходит значительное улучшение: условной прочности на 18%, абразивной стойкости на 74% и морозостойкости на 42%, по сравнению с исходной резиной.
4. Активация многостенных нанотрубок в ультразвуковой ванне дополнительно улучшает эксплуатационные свойства полученных резин: прочность - на 31%, удлинение - 23%, износ - 46%, по сравнению с исходной резиной.
5. Наблюдается взаимодействие между каучуком и МУНТ, что подтверждается данными электронной микроскопии. На электронных микрофотографиях видно, что происходит сглаживание границы раздела фаз, разглаживание микрорельефа поверхности эластомерного материала. Оптимальный комплекс эксплуатационных показателей был получен при введении 2 масс. ч. МУНТ, активированных в течение 1 минуты (20 кГц).