



DOI: <https://doi.org/10.15688/NBIT.jvolsu.2021.2.5>

УДК 678.86

ББК 35.718.1

О ВЛИЯНИИ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИПРОПИЛЕНА

Ирина Владимировна Запороцкова

Доктор физико-математических наук, профессор,
директор института приоритетных технологий,
Волгоградский государственный университет
sefm@volsu.ru
просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация

Владислав Леонидович Калиниченко

Магистрант, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»
vladisavian@gmail.com
Ленинский просп., 4, 119049 г. Москва, Российская Федерация

Лев Васильевич Кожитов

Доктор технических наук, профессор,
кафедра технологии материалов электроники,
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»
kozitov@misis.ru
Ленинский просп., 4, 119049 г. Москва, Российская Федерация

Павел Александрович Запороцков

Кандидат физико-математических наук, доцент,
кафедра судебной экспертизы и физического материаловедения,
Волгоградский государственный университет
paulzaporotskov@gmail.ru
просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация

Татьяна Викторовна Кислова

Старший преподаватель,
кафедра судебной экспертизы и физического материаловедения,
Волгоградский государственный университет
sefm@volsu.ru
просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. В работе выполнены исследования основных физико-механических свойств образцов полипропилена, насыщенного углеродными нанотрубками, взятыми в раз-

ных концентрациях (0; 0,01; 0,05 и 0,1 мас. %), которые установили, что добавление УНТ в больших количествах негативно влияет на пределы прочности при растяжении и изгибе, что может быть связано с увеличением степени неоднородности структуры и появлением крупных агломератов, которые будут являться точками концентрации напряжения. С увеличением массовой доли углеродных нанотрубок в полимерном нанокомпозите увеличивается тангенс угла диэлектрических потерь, что приводит к лучшей проводимости образца, содержащего большее количество нанотрубок. Это может быть связано с тем, что нанотрубки становятся проводниками электрического тока в объеме матрицы полимера.

Ключевые слова: пропилен, углеродные нанотрубки, предел прочности, композитные материалы, физико-механические свойства.

Введение

Одним из наиболее интересных и перспективных материалов современности являются углеродные нанотрубки [2; 3; 9; 10]. Большинство применений нанотрубок связано с возможностью их сочетания с другими материалами в форме сплавов, смесей, композитов или гибридных материалов [8]. В частности, идея включения углеродных нанотрубок в качестве наполнителя в различные матрицы на основе полимеров (например, традиционные полимеры, такие как термопласты, терморезистивные материалы или эластомеры, а также сопряженные полимеры) для образования нанокомпозитов типа полимер/углеродные нанотрубки произвела революцию в материаловедении и технике [1].

Внесение углеродных нанотрубок в структуру композита влияет на структуру и свойства полимерного связующего, а также на композиционный материал в целом [5; 6]. В настоящее время отсутствуют опытные разработки, на основе которых внесение, распределение и стабилизация дисперсии углеродных нанотрубок в полимерных композитах внедрялось бы в промышленной технологии. Разработка наиболее эффективных методов введения углеродных нанотрубок в полимерные материалы и определение их влияния на физико-механические свойства полимеров является актуальной и приоритетной задачей. Возможно, данные методы смогут найти применение в промышленном производстве полимерных композиционных материалов, предназначенных для использования и эксплуатации в различных экстремальных условиях (будь то высокие температуры, эрозия, высокое силовое воздействие или сильноокислые/сильнощелочные среды) [4; 7].

В работе представлены результаты исследования влияния малых концентраций углеродных нанотрубок на свойства одного из известных полимерных материалов – полипропилен – при изучении способа допирования полимерной матрицы нанотрубками и экспериментального определения механических и электрофизических свойств полученного нанокомпозита.

1. Методика допирования полимера углеродными нанотрубками и создания образцов

Для выполнения исследований некоторых физико-механических свойств допированного полимера были изготовлены образцы, которые представляли собой композиционные материалы на основе полипропилена с добавлением УНТ от 0 до 0,1 масс.%. Физико-механические свойства данного полимера следующие: плотность – 0,9 г/см³, твердость по Шору D – 61, предел прочности при разрыве – 28 МПа, температура обработки – от 180 до 240 °С. Нанотрубки находятся в сильно агломерированном состоянии, поэтому с целью их дезагрегации перед введением в полимер они подвергались ультразвуковой обработке в течение 4 часов периодами по 20 минут с перерывом между обработкой в 15 минут.

Для приготовления композита использовали метод расплава. 2 г полипропилена расплавляли при температуре 230 °С, в расплав полимера вводили УНТ в соответствии с масс.% и перемешивали расплав для лучшего распределения нанотрубок и во избежание появления областей с воздухом внутри получившегося образца. Далее расплав заливали в форму. В результате были получены образцы,

представляющие собой прямоугольную пластинку со следующими параметрами: ~ 40 мм в длину, ~ 23 мм в ширину и ~ 3 мм в толщину (рис. 1).

2. Методики измерения физико-механических характеристик

Измерение предела прочности при растяжении

Прочность при растяжении представляет собой характеристику материала для оценки прочностных свойств. Прочность при растяжении обозначает максимальное механическое растягивающее напряжение, с которым можно нагружать образец. При превышении прочности при растяжении материал разрушается: приложение усилия снижается, пока образец, наконец, не порвется. Разумеется, на образце возникает пластичная (то есть остаточная) деформация еще до достижения прочности при растяжении. Измеряется в МПа или Н/мм². Обозначается как R_m либо как σ_0 . После строится диаграмма «напряжение/деформация», из которой можно определить различные характеристики исследуемого материала: упругие свойства или прочность при растяжении.

Метод заключается в приложении к образцу нагрузки, увеличивающейся постепенно до разрушения образца, с дальнейшим определением предела прочности по следующей формуле:

$$\sigma_0 = \frac{F}{S_0},$$

где F – максимальная сила, приложенная к образцу; S_0 – площадь поперечного сечения образца до растяжения.

При проведении испытаний должны соблюдаться следующие условия: нагрузка должна плавно увеличиваться; должна быть возможность плотного зажатия образца между опорами машины по всей поверхности соприкосновения; должны фиксироваться показания наибольшего напряжения; грани образцов должны быть изготовлены без сколов и трещин.

Измерение предела прочности при изгибе

Прочность на изгиб – мера, которая показывает, насколько хорошо материал сопротивляется изгибу, или насколько материал жесткий. Предел прочности – это отношение наибольшей приложенной к телу нагрузки до разрушения к изначальной площади поперечного сечения образца. В отличие от нагрузки при растяжении, при испытаниях на изгиб все силы действуют в одном направлении. Для определения предела прочности при поперечном изгибе образцов применяют метод разрушения свободно лежащего на двух опорах образца одной сосредоточенной силой. При данном виде испытаний образец свободно лежит на двух опорах, а в центре образца приложена статическая нагрузка.



Рис. 1. Образцы полипропилена с добавлением углеродных нанотрубок, взятых в различных массовых процентах

Вычисляется предел прочности при изгибе по следующей формуле:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{3Pl}{2bh^2} \text{ кгс/мм}^2,$$

где $M = Pl/4$ – максимальный изгибающий момент; $W = bh^2/6$ – момент сопротивления образца прямоугольного сечения; P – разрушающая нагрузка, кгс; b – ширина образца, мм; h – высота образца, мм; l – расстояние между опорами, мм.

Измерение тангенса угла диэлектрических потерь

Величина $\text{tg}\delta$ называется тангенсом угла диэлектрических потерь и характеризует диэлектрические потери и общее состояние изоляции. Если изоляция была бы изготовлена из идеального диэлектрика, то в ней не было бы потерь и при включении на переменное напряжение она не потребляла бы активной мощности. При приложении переменного напряжения к такой идеальной изоляции происходят периодически повторяющиеся заряд и разряд и в цепи появляется переменный емкостный ток. При этом вся энергия, полученная изоляцией за время заряда, возвращается в сеть во время разряда. Производство емкостного тока на напряжение дает величину реактивной или емкостной мощности; она пропорциональна емкости изоляции (кроме того, частоте и квадрату приложенного напряжения). Таким образом, изоляция из идеальных диэлектриков потребляла бы из сети только реактивную (емкостную) мощность. Однако практически идеальных диэлектриков не существует. В реальной изоляции всегда имеется потеря энергии, поэтому при приложении к ней напряжения из сети потребляется не только реактивная, но и активная мощность, обусловленная потреблением энергии изоляцией. Отношение активной мощности, потребляемой изоляцией, к реактивной мощности и называется тангенсом угла диэлектрических потерь.

Для измерения емкости и угла диэлектрических потерь (или $\text{tg}\delta$) эквивалентную схему конденсатора представляют как идеальный конденсатор с последовательно включенным активным сопротивлением (последовательная схема) или как идеальный конденсатор с параллельно включенным активным сопротивлением (параллельная схема).

Значение потерь пропорционально квадрату приложенного к диэлектрику напряжения и частоте, что необходимо учитывать при выборе электроизоляционных материалов для аппаратуры высокого напряжения и высокочастотной.

С увеличением приложенного к диэлектрику напряжения до некоторого значения U_0 начинается ионизация имеющихся в диэлектрике газовых и жидкостных включений, при этом δ начинает резко возрастать за счет дополнительных потерь, вызванных ионизацией.

Значение тангенса угла диэлектрических потерь ($\text{tg}\delta$) нормируется для температуры 20 °С, поэтому измерение следует производить при температурах, близких к нормированной (10–20 °С). В этом диапазоне температур изменение диэлектрических потерь невелико, и для некоторых типов изоляции измеренное значение может без пересчета сравниваться с нормированным для 20 °С.

2. Результаты проведенных экспериментов по определению влияния углеродных нанотрубок на физико-механические свойства полипропилена

По описанной выше методике были изготовлены шесть образцов с различной концентрацией углеродных нанотрубок. Основные параметры образцов приведены в таблице 1.

Механические свойства

Влияние УНТ на механические свойства определялось по пределу прочности при растяжении и изгибе. Для исследования прочностных свойств при растяжении использовалась разрывная электромеханическая машина РЭМ-50, скорость растяжения была установлена на 10 мм/с. Результаты тестов приведены в таблице 2.

Анализ результатов показал, что наибольшую нагрузку выдержал образец с наименьшей концентрацией нанотрубок.

Диаграмма влияния УНТ на прочность при растяжении представлена на рисунке 2.

Испытание прочности при изгибе также производилось на РЭМ-50, диаметр ролика был равен 20 мм, расстояние между опорами – 18 мм.

Таблица 1

**Основные параметры образцов полипропилена,
допированного углеродными нанотрубками**

Общая масса образца, г	% УНТ	Площадь поперечного сечения, мм ²	Длина образца, мм
2,03	0,00	76,466	39,33
2,005	0,10	74,683	40,07
2,01	0,05	71,85981	40,18
2,03	0,05	77,688	39,58
2,0321	0,01	68,226	39,05
2,024	0,01	73,8794	39,33

Таблица 2

Результаты испытаний механических свойств, выполненные на РЭМ-50

Общая масса образца, г	% УНТ	Площадь поперечного сечения, мм ²	Максимальное значение приложенной силы, кН	Предел прочности при растяжении, Н/мм ²
2,030	0,00	76,466	4,084	53,409
2,005	0,10	74,683	1,769	63,920
2,010	0,05	71,860	4,252	59,171
2,032	0,01	68,226	4,361	23,687

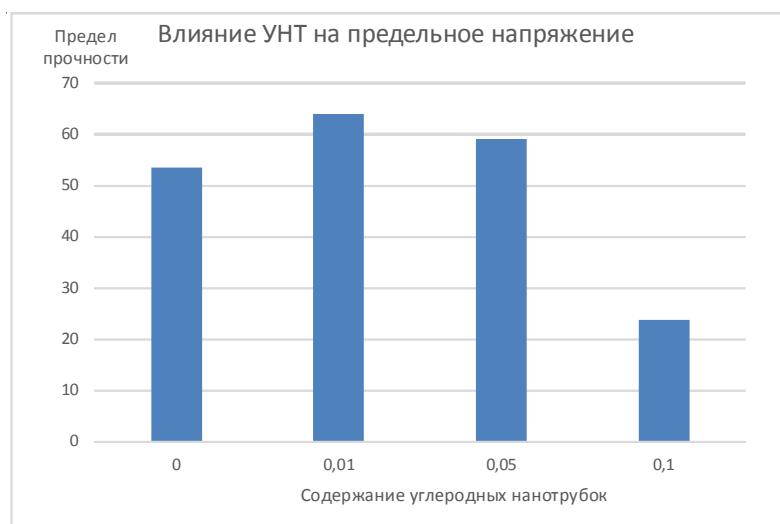


Рис. 2. Диаграмма влияния УНТ, взятых в различном процентном содержании, на предельное напряжение образцов допированного полипропилена

Результаты испытаний приведены в таблице 3. Диаграмма влияния на предельное напряжение при изгибе представлена на рисунке 3.

Таким образом, можно сделать вывод, что добавление углеродных нанотрубок в больших количествах оказывает отрицательное влияние на пределы прочности при растяжении и изгибе. Это может происходить из-за того, что большое содержание нанотрубок приводит к увеличению степени неоднородности структуры и появлению крупных агломератов, которые могут являться точками концентрации напряжения, вследствие чего

образец с высоким содержанием УНТ (в 0,1 %) выдерживает гораздо меньшее напряжение, чем все остальные образцы.

Электрические свойства

Электрические свойства композитного материала оценивались по тангенсу угла диэлектрических потерь, измеренному на RCL-измерителе LCR-7819. Измерения проводились с частотой тока, равной 1 кГц. Значения величин представлены в таблице 4 и в виде диаграммы на рисунке 4.

**Результаты испытаний прочности при изгибе образцов полипропилена
с различным содержанием углеродных нанотрубок**

Концентрация нанотрубок, %	Наибольшая нагрузка, кгс	Ширина образца, мм	Толщина образца, мм	Разрушающее напряжение при изгибе, кгс/мм ²
0,00	72,1	22,1	3,46	7,35
0,01	113,3	22,186	3,33	12,4344
0,05	87,4	23,4	3,32	9,149

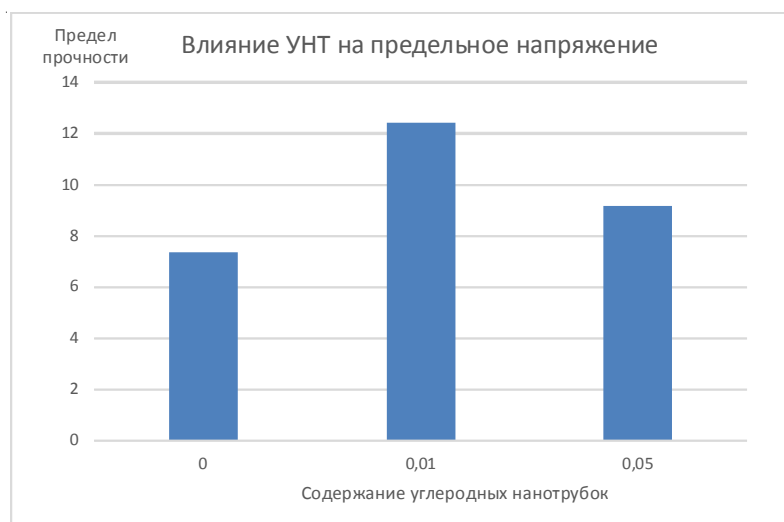


Рис. 3. Диаграмма влияния УНТ на предельное напряжение при изгибе образцов допированного полипропилена

**Тангенс угла диэлектрических потерь образцов полипропилена,
допированных УНТ, взятых в различных концентрациях**

Концентрация нанотрубок, %	Тангенс угла диэлектрических потерь
0,00	0,0196
0,01	0,1108
0,05	0,2549
0,10	0,3390

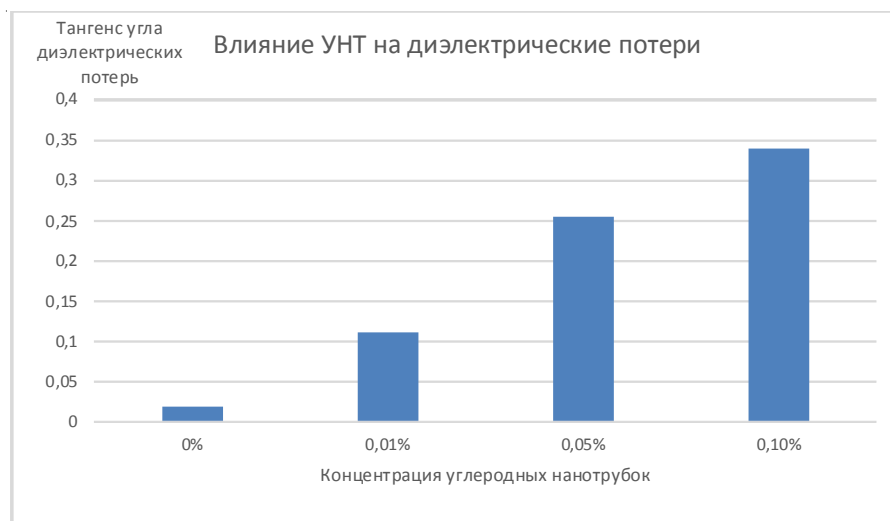


Рис. 4. Диаграмма влияния содержания УНТ на диэлектрические потери допированного полипропилена

Анализ полученных результатов установил, что с увеличением массовой доли нанотрубок в полимере увеличивается тангенс угла диэлектрических потерь, то есть образец с большим количеством нанотрубок проводит ток лучше.

Заключение

Выполненные исследования основных физико-механических свойств образцов полипропилена, насыщенного углеродными нанотрубками, взятыми в разных концентрациях (0; 0,01; 0,05 и 0,1 мас. %), установили, что добавление УНТ в больших количествах негативно влияет на пределы прочности при растяжении и изгибе, что может быть связано с увеличением степени неоднородности структуры и появлением крупных агломератов, которые будут являться точками концентрации напряжения. С увеличением массовой доли углеродных нанотрубок в полимерном нанокompозите увеличивается тангенс угла диэлектрических потерь, что приводит к лучшей проводимости образца, содержащего большее количество нанотрубок. Это может быть связано с тем, что нанотрубки становятся проводниками электрического тока в объеме матрицы полимера.

В заключение следует отметить, что полимерные нанокompозиты на основе УНТ предоставляют множество возможностей для их использования в различных технологических разработках. Электрические свойства и результаты применения нанокompозитов на основе УНТ (например, экранирование от электромагнитных помех) уже удовлетворительные, хотя нельзя исключать возможности для улучшения, особенно с точки зрения снижения затрат. Что касается термических свойств, нанокompозиты УНТ/полимер с хорошей термической стабильностью и значительной теплопроводностью уже использовались для применений теплоотвода и термического сопряжения. Однако, в частности, в отношении механических свойств, необходимо решить некоторые ключевые проблемы, чтобы полностью реализовать потенциал УНТ. Основные из этих проблем – способность приобретать гомогенную дисперсию УНТ и их выравнивание в полимерной мат-

рице. Ограничения, возникающие из-за этого, отрицательно влияют на доступную площадь поверхности наполнителя и, следовательно, на передачу нагрузки между наполнителем и матрицей, приводя к компромиссу в отношении механических свойств. С ростом понимания химии функционализации в последние годы, проблема дисперсии была частично обойдена. Однако, чтобы конкурировать с существующими нанокompозитами на основе углеродного волокна, необходимы дополнительные усилия в этом направлении. Необходимы новые способы функционализации, которые обеспечивают максимально возможную гомогенность в дисперсии УНТ с наименьшим ущербом для механических свойств нанокompозитов. Из-за больших затрат, связанных с синтезом и обработкой этих нанокompозитов, их коммерческая жизнеспособность также нуждается в упоминании с точки зрения ключевых проблем. Если говорить коротко, то будущее полимерных нанокompозитов на основе УНТ решительно зависит от успеха, достигнутого в решении этих ключевых задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние малых добавок углеродных нанотрубок на механические свойства эпоксидных полимеров при статических и динамических нагрузках / А. Е. Тарасов, Э. Р. Бадамшина, Д. В. Анохин [и др.] // Журнал технической физики. – 2018. – Т. 88, вып. 1. – Режим доступа: <http://journals.ioffe.ru/articles/viewPDF/45478> (дата обращения: 14.04.2021).
2. Дьячков, П. Н. Электронные свойства и применение нанотрубок / П. Н. Дьячков. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 488 с.
3. Елецкий, А. В. Механические свойства углеродных наноструктур и материалов на их основе / А. В. Елецкий // УФН. – 2007. – Т. 177, вып. 3. – С. 233–274. – Режим доступа: <https://www.ufn.ru/ru/articles/2007/3/a/> (дата обращения: 23.02.2021).
4. Лозовик, Ю. Е. Свойства и нанотехнологические применения нанотрубок / Ю. Е. Лозовик, А. М. Попов // УФН. – 2007. – Т. 177, вып. 3. – С. 786–799.
5. Павлова, Ю. Р. Получение полимер-углеродных композитов, модифицированных углеродными нанотрубками / Ю. Р. Павлова. – Челябинск, 2018. – 82 с. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://dspace.susu.ru/xmlui/bitstream/handle/>

0001.74/23518/2018_243_pavlovayr.pdf?sequence=1 (дата обращения: 23.04.2021).

6. Раков, Э. Г. Химия и применение углеродных нанотрубок / Э. Г. Раков // Успехи химии. – 2001. – Т. 70, вып. 10. – С. 934–973.

7. A tunable carbon nanotube electromechanical oscillator / V. Sazonova, Y. Yaish, H. Üstünel [et al.] // *Nature*. – 2004. – Vol. 431. – P. 284–287.

8. Berber, M. Carbon Nanotubes. Current Progress of their Polymer Composites / M. Berber. – Intech Open, 2016.

9. Kim, D. Multiwall carbon nanotubes / D. Kim // *Encyclopedia of nanoscience and nanotechnology* / ed. by H. S. Nalwa. – Amer. Sci. Publ., 2004. – Vol. 4. – P. 879–894.

10. Kukovecz, A. Single wall carbon nanotubes / A. Kukovecz, Z. Konya, I. Kiricsi // *Encyclopedia of nanoscience and nanotechnology* / ed. by H. S. Nalwa. – Amer. Sci. Publ., 2004. – Vol. 9. – P. 923–946.

REFERENCES

1. Tarasov A.E., Badamshina E.R., Anohin D.V. et al. Vliyanie mal'kh dobavok uglerodnykh nanotrubok na mekhanicheskie svoystva epoksidnykh polimerov pri staticheskikh i dinamicheskikh nagruzkakh [The Effect of Small Additives of Carbon Nanotubes on the Mechanical Properties of Epoxy Polymers Under Static and Dynamic Loads]. *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki*, 2018, vol. 88, iss. 1. URL: <http://journals.ioffe.ru/articles/viewPDF/45478> (accessed 14 April 2021).

2. D'yachkov P.N. *Elektronnyye svoystva i primeneniye nanotrubok* [Electronic Properties and Application of Nanotubes]. Moscow, Binom. Laboratoriya znanij Publ., 2014. 488 p.

3. Eleckij A.V. Mekhanicheskie svoystva uglerodnykh nanostruktur i materialov na ih osnove [Mechanical Properties of Carbon Nanostructures and Materials Based on Them]. *UFN*, 2007, vol. 177, iss. 3, pp. 233–274. URL: <https://www.ufn.ru/ru/articles/2007/3/a> (accessed 23 February 2021).

4. Lozovik Yu.E., Popov, A.M. Svoystva i nanotekhnologicheskie primeneniya nanotrubok [Properties and Nanotechnological Applications of Nanotubes]. *UFN*, 2007, vol. 177, iss. 3., pp. 786–799.

5. Pavlova Yu.R. *Poluchenie polimer-uglerodnykh kompozitov, modifitsirovannykh uglerodnymi nanotrubkami* [Production of Polymer-carbon Composites Modified with Carbon Nanotubes]. Chelyabinsk, 2018. 82 p. URL: https://dspace.susu.ru/xmlui/bitstream/handle/0001.74/23518/2018_243_pavlovayr.pdf?sequence=1 (accessed 23 April 2021).

6. Rakov E.G. Himiya i primeneniye uglerodnykh nanotrubok [Chemistry and Application of Carbon Nanotubes]. *Uspekhi himii*, 2001, vol. 70, iss. 10, pp. 934–973.

7. Sazonova V., Yaish Y., Üstünel H. et al. A Tunable Carbon Nanotube Electromechanical Oscillator. *Nature*, 2004, vol. 431, pp. 284–287.

8. Berber M. *Carbon Nanotubes. Current Progress of Their Polymer Composites*. Intech Open, 2016.

9. Kim D. Multiwall Carbon Nanotubes. Nalwa H.S., ed. *Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology*. Amer. Sci. Publ., 2004, vol. 4, pp. 879–894.

10. Kukovecz A., Konya Z., Kiricsi I. Single Wall Carbon Nanotubes. Nalwa H.S., ed. *Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology*. Amer. Sci. Publ., 2004, vol. 9, pp. 923–946.

**ON THE INFLUENCE OF CARBON NANOTUBES
ON THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES
OF POLYPROPYLENE**

Irina V. Zaporotskova

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor,
Director of the Institute of Priority Technologies,
Volgograd State University
sefm@volsu.ru
Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation

Vladislav L. Kalinichenko

Master Student,
National Research Technological University "MISiS"
vladisavian@gmail.com
Leninsky Prosp., 4, 119049 Moscow, Russian Federation

Lev V. Kozhitov

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Department of Technology for Electronic Materials,
National Research Technological University "MISiS"
kozhitov@misis.ru
Leninsky Prosp., 4, 119049 Moscow, Russian Federation

Pavel A. Zaporotskov

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor,
Department of Forensic Science and Physical Materials Science,
Volgograd State University
paulzaporotskov@gmail.ru
Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation

Tatyana V. Kislova

Senior Lecturer,
Department of Forensic Science and Physical Materials Science,
Volgograd State University
sefm@volsu.ru
Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation

Abstract. One of the most interesting and promising materials of our time is carbon nanotubes. Most applications of nanotubes are associated with the possibility of combining them with other materials in the form of alloys, mixtures, composites or hybrid materials. In particular, the idea of including carbon nanotubes as a filler in various polymer-based matrices (for example, traditional polymers such as thermoplastics, thermosetting materials or elastomers, as well as conjugated polymers) for the formation of polymer/carbon nanotube nanocomposites has revolutionized materials science and engineering. The introduction of carbon nanotubes

into the composite structure affects the structure and properties of the polymer binder, as well as the composite material as a whole. Currently, there are no experimental developments on the basis of which the introduction, distribution and stabilization of the dispersion of carbon nanotubes in polymer composites would be implemented in industrial technology. The development of the most effective methods for introducing carbon nanotubes into polymer materials and determining their effect on the physical and mechanical properties of polymers is an urgent and priority task. It is possible that these methods will be able to find application in the industrial production of polymer composite materials intended for use and operation in various extreme conditions (whether it is high temperatures, erosion, high force exposure or highly acidic/highly alkaline environments). The main physical and mechanical properties of polypropylene samples saturated with carbon nanotubes taken at different concentrations (0; 0.01; 0.05 and 0.1 wt. %), who found that the addition of CNT in large quantities negatively affects the tensile and bending strength limits, which may be associated with an increase in the degree of heterogeneity of the structure and the appearance of large agglomerates, which will be points of stress concentration. With an increase in the mass fraction of carbon nanotubes in the polymer nanocomposite, the tangent of the dielectric loss angle increases, which leads to better conductivity of the sample containing a larger number of nanotubes. This may be due to the fact that nanotubes become conductors of electric current in the volume of the polymer matrix.

Key words: propylene, carbon nanotubes, tensile strength, composite materials, physical and mechanical properties.