

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИИ МНОГОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК СТЕАРАТОМ ТИТАНА ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА КОМПОЗИТОВ

А. Г. Ткачев, Д. В. Таров, В. П. Таров, И. Н. Шубин

*Кафедра «Техника и технологии производства нанопродуктов»,
ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия; i.shubin77@yandex.ru*

Ключевые слова: жирные кислоты; композит; модифицирующий слой; нанотрубки; стеарат титана; функционализация; функциональная схема.

Аннотация: Проведен анализ методов получения стабильных дисперсий углеродных нанотрубок в воде и полярных органических растворителях, которые применяются в производстве полимерных композитов и смазочных материалов. Выявлены три существенных признака данных методов, обеспечивающих формирование на поверхности трубок титаножиринокислотного модифицирующего слоя из водного раствора реагентов. Приведена схема линии получения углеродных нанотрубок, функционализированных стеаратом титана, включающая пять стадий: синтез водорастворимого бис-триэтанолламин-титаната; синтез триэтанолламиновой соли жирной кислоты; ультразвуковое диспергирование углеродных нанотрубок в водном растворе, содержащем триэтанолламиную соль жирной кислоты и бис-триэтанолламин-титанат; обработка дисперсии углекислым газом; фильтрование продукта и его промывка деминерализованной водой, насыщенной углекислым газом на фильтр-сушилке. Подобран состав технологического оборудования для реализации этих стадий.

Введение

Благодаря высокоразвитой поверхности углеродных нанотрубок (УНТ), составляющей зачастую свыше 200 м^2 на грамм, появляется возможность создания материала с относительно большим количеством поверхностных функциональных групп. Функционализация многостенных УНТ предназначена для получения стабильных дисперсий, содержащих углеродные наноматериалы, диспергированные в органических растворителях, которые применяются в производстве полимерных композитов и смазочных материалов. При создании таких материалов, содержащих УНТ, возникает проблема распределения УНТ в различных средах (органических растворителях, полимерах). Для того чтобы свести к минимуму агрегирование нанотрубок, необходимо обеспечить их хорошую смачиваемость средой. Это достигается применением поверхностно-активных веществ (ПАВ), химической прививкой тех или иных функциональных групп к поверхности УНТ. При химической функционализации различные функциональные группы присоединяются к торцам или боковым стенкам УНТ посредством ковалентных связей. Функционализация торцов УНТ приводит к локальным изменениям их электрон-

ной структуры, а боковых стенок – вызывает существенные изменения объемных свойств наноматериала. Однако трудности химической функционализации связаны с низкой реакционной способностью УНТ, обусловленной малой кривизной поверхности [1 – 3].

Анализ методов повышения стабильности дисперсий углеродных нанотрубок

Известны многочисленные методы получения стабильных дисперсий УНТ в воде и полярных органических растворителях, включающие прививку к поверхности трубок полярных групп – фенольной, хиноидной, карбоксильной (другими терминами, функционализацию УНТ полярными кислородсодержащими группами). Это достигается обработкой УНТ различными окислителями как в жидкой, так и газовой фазе. В качестве окислителей применяются азотная кислота или ее смеси с серной кислотой, персульфат аммония и перекись водорода в кислой или щелочной среде, диоксид азота, гипохлорит натрия, озон, перманганат калия и другие сильные окислители [4 – 6]. Известны также различные методы получения водных дисперсий УНТ с применением ионогенных или неионогенных ПАВ [7 – 10].

Первым существенным признаком приведенных методов является использование исходного углеродного наноматериала, который содержит на поверхности гидроксильные и/или карбоксильные группы, получаемые его обработкой окислителями. Однако он не только не обеспечивает, но даже ухудшает диспергируемость УНТ в неполярных органических средах. Вторым существенным признаком является применение для диспергирования УНТ бифункциональных веществ, способных, с одной стороны, взаимодействовать с поверхностью частиц УНТ, с другой – хорошо смачиваться дисперсионной средой. При этом ПАВ способно десорбироваться на поверхности УНТ. Если дисперсия УНТ служит для приготовления композитов, наличие в их составе ПАВ в ряде случаев нежелательно. Кроме того ПАВ обеспечивают получение стабильных дисперсий УНТ в воде, но малоэффективно работают в полярных органических растворителях и неэффективны для получения дисперсий УНТ в неполярных средах. Третьим существенным признаком является обработка УНТ соединениями, содержащими реакционноспособные и углеводородные группы, в условиях протекания реакции пришивки молекул к поверхности наноматериала, что не позволяет получить стабильные дисперсии УНТ в неполярных органических средах. Известны различные варианты получения стабильных водных дисперсий УНТ, в которых в качестве стабилизатора применяются биологические полимеры или химически синтезированные полярные полимеры [11 – 13].

Диспергирование углеродных нанотрубок в неполярных органических средах

Ранее была показана возможность модифицирования УНТ стеаратом титана из водного раствора [14]. При модифицировании УНТ вначале проводили функционализацию углеродных нанотрубок путем их обработки раствором окислителя (персульфат аммония в аммиачной среде). Обработанные УНТ, содержащие гидроксильные и карбоксильные поверхностные группы, после промывки водой и высушивания, суспендировали в толуоле, добавляли толуольный раствор титанато-стеаратного олигомера, полученного взаимодействием тетрабутилтитаната со стеариновой кислотой в толуольном растворе, и обрабатывали ультразвуком.

В результате получили модифицированные УНТ, образующие стабильную дисперсию в толуоле. Поверхность полученных УНТ модифицирована титанато-стеаратными группами, причем, титанатные группы выступают в качестве мости-

ковых между стеаратными и карбоксильными группами на поверхности окисленных УНТ. При этом использовали в качестве веществ, способствующих диспергированию УНТ в неполярных органических средах, соединений титана и производных жирной кислоты. Полученные модифицированные УНТ хорошо диспергируются в толуоле. Данная система устойчива в растворе при щелочном pH, а при понижении pH стеарат титана коагулирует и присоединяется к поверхности УНТ. Однако при увеличении масштаба производства применение органического растворителя толуола создает проблемы в связи с повышенной пожароопасностью, вредностью для персонала и окружающей среды. Кроме того, модифицированные нанотрубки получают первоначально в виде дисперсии в толуоле, и для введения в среды, в которых присутствие толуола нежелательно, толуол необходимо отгонять.

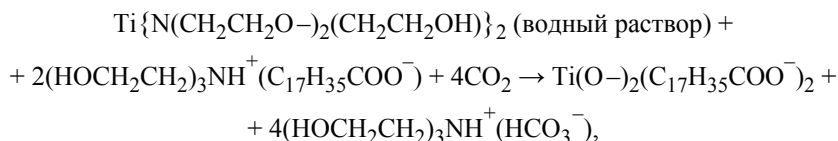
Поставлена задача обеспечить формирование на поверхности УНТ титано-жирнокислотного модифицирующего слоя из водного раствора реагентов, содержащих водорастворимые соединения титана и производные жирной кислоты, и тем самым обеспечить получение из водной системы модифицированного углеродного наноматериала, который хорошо диспергируется в неполярных средах. Поставленную задачу решали путем модифицирования углеродных наноматериалов, включающем:

- обработку углеродного наноматериала, частицы которого содержат на поверхности гидроксильные и/или карбоксильные группы, раствором, содержащим соединения титана и производные жирной кислоты;

- обработку углеродного наноматериала водным раствором, содержащим триэтанолламин-титанат и соль жирной кислоты, причем указанный раствор с суспендированным в нем углеродным наноматериалом обрабатывают углекислым газом до коагуляции системы, а затем промывают осадок водой.

Мольное отношение соли жирной кислоты к титану предпочтительно брать от 1:1 до 3:1, а массовое отношение (жирная кислота + соединения титана в пересчете на диоксид титана)/углеродный наноматериал – от 0,75:1 до 2:1 [15]. Для реализации предлагаемого подхода могут быть применены различные жирные кислоты, например стеариновая, олеиновая, пальмитиновая и другие, а также, смесь синтетических жирных кислот. Механизм химических превращений, происходящих в данной системе, не исследован. Однако можно предполагать, что водный раствор, содержащий триэтанолламин-титанат и соль жирной кислоты, устойчив при слабощелочном pH, создаваемым аминогруппами триэтанолламина. При обработке углекислым газом происходит понижение pH, вследствие чего аминогруппы протонируются, устойчивость комплекса триэтанолламина с титаном падает и происходит взаимодействие соединений титана с анионами жирной кислоты, вызывая связывание ионов титана с гидроксильными и/или карбоксильными группами на поверхности УНТ и жирнокислотными группами и образование гидрофобного покрытия. При этом использовали углеродные нанотрубки серии «Таунит» с конической ориентацией углеродных слоев, производства ООО «НаноТехЦентр» характеризовались внешним диаметром 20...70 нм и длиной более 2 мкм. Исходный материал имеет следующие характеристики: средний наружный диаметр 15...40 нм, внутренний диаметр 5...8 нм, средняя длина 2 мкм, удельная геометрическая поверхность $120 \text{ м}^2 \cdot \text{г}^{-1}$, насыпная плотность $0,4...0,6 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$. Для предварительной функционализации УНТ «Таунит» карбоксильными и гидроксильными группами их обрабатывали в растворе, содержащем растворы гипохлорита натрия и карбоната натрия, после чего смесь подкисляли, фильтровали и промывали водой. Продукт применяли без высушивания в виде водной пасты с известным содержанием сухих УНТ (в применяемом в описанных ниже примерах препарате оно составляло 43,0 %). Для функционализации использовались следующие реактивы: триэтанолламин марки «ч.», стеариновая кислота техническая, тетрабутоксититан (синоним тетрабутилтитанат) технический.

Суммарный процесс, который приводит к образованию на УНТ гидрофобного поверхностного слоя, опишем следующим уравнением реакции (для определенности, на примере стеариновой кислоты в качестве жирной кислоты):



где черточки при атоме кислорода в формуле $\text{Ti}(\text{O}-)_2(\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COO}^-)_2$ обозначают связи, которыми атом титана присоединен к поверхности углеродной нанотрубки.

Разработка функциональной схемы линии получения углеродных нанотрубок, функционализированных стеаратом титана

Линия получения УНТ, функционализированных стеаратом титана (**Ti-УНТ**), включает в себя несколько аппаратов, емкостей, бункеров, насосов и т.д., в которых осуществляется технологический процесс производства готового продукта. На выбор конкретного типа оборудования непосредственное влияние оказывают вид технологического процесса, протекающего в нем, реакционная среда, типизация конструкций, общая компоновка и т.д. [15, 16].

Проведя анализ различных типовых конструкций аппаратов, представляется целесообразным использование на основных стадиях производства вертикальных цилиндрических аппаратов с мешалками. Аппараты, в силу небольших размеров, будут иметь плоскую крышку для удобства монтажа привода мешалок, размещения штуцеров и простоты конструкции в целом, а также эллиптическое днище, удовлетворяющее конструктивным и технологическим требованиям. При производстве функционализированных УНТ можно выделить несколько технологических стадий и основное оборудование, задействованное на них (рис. 1).

1. Синтез водорастворимого триэтаноламин-титаната *0.4* осуществляется в реакторе с мешалкой *4*, где проводится его смешивание с дистиллированной водой *0.3* при нагреве и непрерывном перемешивании до полного взаимного растворения. Реакция проходит при температуре $25\text{ }^\circ\text{C}$ в течение одного часа.

2. Синтез триэтаноламиновой соли жирной кислоты происходит в реакторе с мешалкой и обогревом *3*, где осуществляется приготовление раствора, содержащего дистиллированную воду *0.3*, триэтаноламин *0.1* и стеариновую кислоту *0.2*. Смешивание проводится при непрерывном перемешивании до полного взаимного растворения. На данной технологической операции необходимо обеспечить не только нагрев до $80\text{ }^\circ\text{C}$, но и поддержание температуры реакционной смеси – для этого целесообразно применить электрообогрев как наиболее оптимальный в данных условиях. Для охлаждения рекомендуется использовать рубашку с проточной технической водой. Синтез осуществляется в течение одного часа.

3. Ультразвуковое диспергирование УНТ *0.5* в водном растворе, содержащем триэтаноламиновую соль жирной кислоты и триэтаноламин-титанат происходит в реакторе с мешалкой и рубашкой *2*, где смешиваются УНТ *0.5* с растворами, полученными на первой и второй технологических операциях. Полученную смесь диспергируют под действием ультразвука на проточной ультразвуковой установке *8*. Реакционный объем охлаждается теплоносителем (проточная техническая вода) до температуры окружающей среды. Ультразвуковой диспергатор, используемый на данной стадии производства, базируется на типовой конструкции, подобранной по необходимой мощности и доработанной конструктивно для удобства монтажа. Диспергатор предназначен для равномерного диспергирования УНТ по всему объему реакционной смеси.

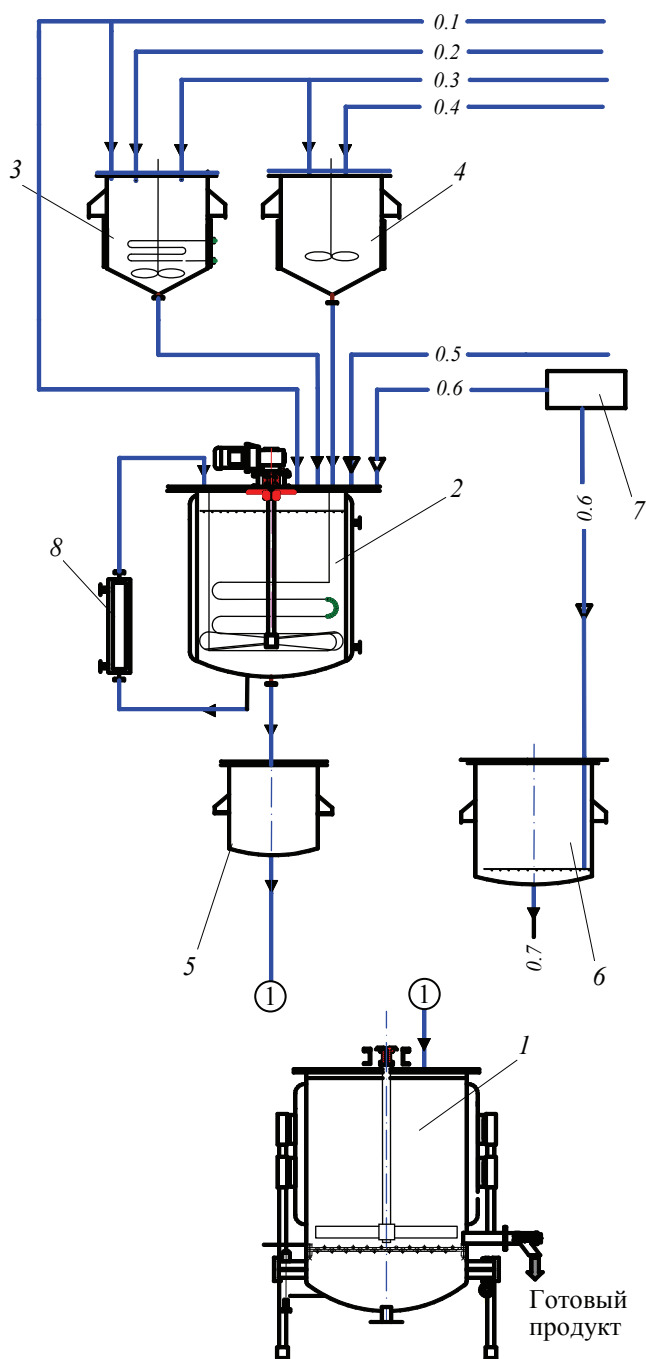


Рис. 1. Схема линии получения Ti-УНТ:

- 1 – фильтр-сушилка; 2 – реактор обработки углекислым газом;
- 3 – реактор приготовления раствора стеарата триэтанолamina;
- 4 – реактор обработки триэтанолamin-титанатом;
- 5 – емкость для реакционной смеси; 6 – емкость воды, насыщенной углекислотой; 7 – газовый баллон;
- 8 – диспергатор ультразвуковой

4. Обработка дисперсии углекислым газом 0.6. В реакторе 2 проводится насыщение реакционной смеси, полученной на предыдущей технологической операции, углекислым газом из газовых баллонов 7 при непрерывном перемешивании. При этом весь свободный объем реактора насыщается углекислым газом. Насыщенный раствор подается в накопительную емкость для реакционной смеси 5 для выдерживания в течение двух суток – времени протекания химических реакций. Емкости, используемые в линии производства Ti-УНТ, представляют собой типовые конструкции (состоящие из цилиндрической обечайки, плоской крышки и эллиптического днища), работающие под гидростатическим давлением и различающиеся объемом. Конструкция емкостей обеспечивает удобство осмотра и обслуживания при эксплуатации и отвечает всем требованиям, предъявляемым к сосудам данного типа.

5. Насыщенный раствор из накопительной емкости 5, содержащий воду с гелеобразными включениями, подается на фильтрование продукта и промывку водой на фильтр-сушилку 1. Фильтр-сушилка для фильтрации готового продукта отвечает основным технологическим требованиям, предъявляемым к оборудованию подобного типа и базируется на стандартной конструкции. Промывка осуществляется деминерализованной водой 0.7, насыщенной углекислым газом (до pH 4...5) (из емкости 6). Данный тип фильтра обеспечивает высокую эффективность процесса фильтрования, а также позволяет осуществлять последующую сушку, что является следующей технологической операцией – высушиванием готового продукта.

Заключение

Проанализировав литературные источники и экспериментальные исследования, выделили основные методы получения стабильных дисперсий УНТ в воде и полярных органических растворителях. В свою очередь это позволило разработать реализуемую промышленную технологию получения функционализированных УНТ, включающую функциональную схему получения и аппаратное оформление технологического процесса. Определены конструктивные особенности применяемого оборудования, исходя из специфики протекающих в них процессов получения стабильных дисперсий УНТ серии «Таунит» в различных неполярных и малополярных органических растворителях, а также для введения углеродных наноматериалов в неполярные органические полимеры. Углеродные нанотрубки, функционализированные стеаратом титана, могут успешно использоваться в качестве наполнителей композиционных материалов, элементов радиоэлектроники, добавок в смазочные материалы, высокоэффективных адсорбентов, газораспределительных слоев топливных элементов, аккумуляторов водорода, и т.д.

Работа выполнена в рамках проекта, реализуемого в соответствии с постановлением Правительства РФ от 09.04.2010г. №218 (Договор 02.G25.31.0123 от 14.08.2014 г.).

Список литературы

1. Раков, Э. Г. Химия и применение углеродных нанотрубок / Э. Г. Раков // Успехи химии. – 2001. – Т. 70, № 10. – С. 934 – 973.
2. Хабашеску, В. Н. Ковалентная функционализация углеродных нанотрубок: синтез, свойства и применение фторированных производных / В. Н. Хабашеску // Успехи химии. – 2011. – Т. 80, № 8. – С. 739 – 760.
3. Дьячкова, Т. П. Методы функционализации и модифицирования углеродных нанотрубок / Т. П. Дьячкова, А. Г. Ткачев. – М. : Спектр, 2013. – 152 с.
4. Chemical Oxidation of Multiwalled Carbon Nanotubes / V. Datsyuk [at al.] // Carbon. – 2008. – Vol. 46. – P. 833 – 840.

5. Schierz, A. Aqueous Suspensions of Carbon Nanotubes: Surface Oxidation, Colloidal Stability and Uranium Sorption / A. Schierz, H. Zanker // *Environmental Pollution*. – 2009. – Vol. 157. – P. 1088 – 1094.
6. Comparative Study of Carbon Nanotube Dispersion Using Surfactants / R. Rastogi [at al.] // *Journal of Colloid and Interface Science*. – 2008. – No. 328. – P. 421 – 428.
7. Vaisman L. The Role of Surfactants in Dispersion of Carbon Nanotubes / L. Vaisman, H. D. Wagner, G. Marom // *Advances in Colloid and Interface Science*. – 2006. – No. 128 – 130. – P. 37 – 46.
8. Effects of Polarity and pH on the Solubility of Acid-Treated Carbon Nanotubes in Different Media / Y.-T. Shieh [at al.] // *Carbon*. – 2007. – Vol. 45. – P. 1880 – 1890.
9. Aqueous Suspension of Carbon Nanotubes Via Non-Covalent Functionalization with Oligothiophene-Terminated Poly (Ethylene Glycol) / J. U. Lee [at al.] // *Carbon*. – 2007. – No. 45. – P. 1051 – 1057.
10. Biomolecules as Selective Dispersants for Carbon Nanotubes / S. E. Moulton [at al.] // *Carbon*. – 2005. – No. 43. – P. 1879 – 1884.
11. Li Z., The High Dispersion of DNA-Multiwalled Carbon Nanotubes and their Properties / Z. Li, Z. Wu, K. Li // *Analytical Biochemistry*. – 2009. – No. 387. – P. 267 – 270.
12. Patent US 7,588,941 B2, Int. Cl. C07H 21/04, B82Y 10/00, B82Y 30/00, B82Y 5/00. Dispersion of carbon nanotubes by nucleic acids / M. Zheng, B.A. Diner; Original and Current Assignee E I Du Pont de Nemours and Co. – Appl. No. 11/590,564; Filed on 2006-10-31; Published on 2009-09-15.
13. Applications of Cationic Gemini Surfactant in Preparing Multi-Walled Carbon Nanotube Contained Nanofluids / L.Chen [at al.] // *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*. – 2008. – No. 330. – P. 176 – 179.
14. Хохлов, П. А. Функционализация углеродных нанотрубок органотитанатами / А. В Мележик, П. А. Хохлов, А. Г. Ткачев // *Вестн. Воронеж. гос. университета. Сер. Химия. Биология. Фармация*. – 2013. – № 1. – С. 31 – 35.
15. Таров, Д. В. Аппаратурное оформление функционализации нанотрубок стеаратом титана / Д. В. Таров, Т. В. Гурова, И. Н. Шубин // *Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та*. – 2015. – Т. 2, № 2. – С. 360 – 366. doi: 10.17277/vestnik.2015.02.pp.360-366
16. Блохин, А. Н. Влияние нанодисперсных частиц на прочностные свойства полимерных матриц / А. Н. Блохин, В. П. Таров, М. С. Толстых // *Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та*. – 2012. – Т. 18, № 3. – С. 737 – 741.

Technological Bases of Functionalization of Multiwalled Carbon Nanotubes by Titanium Stearate for Subsequent Production of Composites

A. G. Tkachev, D. V. Tarov, V. P. Tarov, I. N. Shubin

*Department "Equipment and Technologies of Nanoproduction",
TSTU, Tambov, Russia;
i.shubin77@yandex.ru*

Keywords: composite; fatty acids; functionalization; functional diagram; modifying layer; nanotubes; titanium stearate.

Abstract: The paper presents the analysis of the methods for obtaining stable dispersions of carbon nanotubes in water and polar organic solvents, which are used in production of polymer composites and lubricants. The study revealed three essential features of these methods providing formation of titanium fatty acid modifying layer from an aqueous solution of reagents on the tube surface. The paper describes the scheme of the production line of carbon nanotubes functionalized by titanium stearate,

which includes five stages: synthesis of water-soluble bis-triethanolamine titanate; synthesis of fatty acid triethanolamine salt; ultrasonic dispersion of carbon nanotubes in an aqueous solution containing triethanolamine salt of a fatty acid and bis-triethanolamine titanate; treatment of dispersion with carbon dioxide; filtering of the product and washing it with demineralised water saturated with carbon dioxide on a filter-dryer. A set of process equipment for the implementation of these steps is selected.

References

1. Rakov E.G. The chemistry and application of carbon nanotubes, *Russian Chemical Reviews*, 2001, vol. 70, no. 10, pp. 827-863, doi: 10.1070/RC2001v070n10ABEH000660 (In Russ., Abstract in Eng.)
2. Khabashesku V.N. Covalent functionalization of carbon nanotubes: synthesis, properties and applications of fluorinated derivatives, *Russian Chemical Reviews*, 2011, vol. 80, no. 8, pp. 739-760, doi: 10.1070/RC2011v080n08ABEH004232 (In Russ., Abstract in Eng.)
3. D'yachkova T.P., Tkachev A.G. *Metody funktsionalizatsii i modifitsirovaniya uglerodnykh nanotrubok* [Methods of modifying and functionalization of carbon nanotubes], Moscow: Spektr, 2013, 152 p. (In Russ.)
4. Datsyuk V., Kalyva M., Papagelis K., Parthenios J., Tasis D., Siokou A., Kallitsis I., Galiotis C. Chemical oxidation of multiwalled carbon nanotubes, *Carbon*, 2008, vol. 46, pp. 833-840.
5. Schierz A., Zanker H. Aqueous suspensions of carbon nanotubes: Surface oxidation, colloidal stability and uranium sorption, *Environmental Pollution*, 2009, vol. 157, pp. 1088-1094.
6. Rastogi R., Kaushal R., Tripathi S.K., Sharma A.L., Kaur I., Bharadwaj L.M. Comparative study of carbon nanotube dispersion using surfactants, *Journal of Colloid and Interface Science*, 2008, no. 328, pp. 421-428.
7. Vaisman L., Wagner H.D., Marom G. The role of surfactants in dispersion of carbon nanotubes, *Advances in Colloid and Interface Science*, 2006, no. 128-130, pp. 37-46.
8. Shieh Y.-T., Liu G.-L., Wu H.-H., Lee C.-C. Effects of polarity and pH on the solubility of acid-treated carbon nanotubes in different media, *Carbon*, 2007, vol. 45, pp. 1880-1890.
9. Lee J.U., Huh J., Kim K.H., Park C., Jo W.H. Aqueous suspension of carbon nanotubes via non-covalent functionalization with oligothiophene-terminated poly (ethylene glycol), *Carbon*, 2007, vol. 45, pp. 1051-1057.
10. Moulton S.E., Minett A.I., Murphy R., Ryan K.P., McCarthy D., Coleman J.N., Blau W.J., Wallace G.G. Biomolecules as selective dispersants for carbon nanotubes, *Carbon*, 2005, vol. 43, pp. 1879-1884.
11. Li Z, Wu Z., Li K. The high dispersion of DNA-multiwalled carbon nanotubes and their properties, *Analytical Biochemistry*, 2009, vol. 387, pp. 267-270.
12. Zheng M., Diner B.A., E I Du Pont de Nemours and Co, *Dispersion of carbon nanotubes by nucleic acids*, US, 2009, Pat. 7,588,941.
13. Chen L., Xie H., Li Y., Yu W. Applications of cationic gemini surfactant in preparing multi-walled carbon nanotube contained nanofluids, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 2008, no. 330, pp. 176-179.
14. Melezhyk A.V., Khokhlov P.A., Tkachev A.G. [Functionalization of carbon nanotubes with organotitanates], *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya* [Proceedings of Voronezh State University], 2013, no. 1, pp. 31-35. (In Russ., Abstract in Eng.)
15. Tarov D.V., Gurova T.V., Shubin I.N. [Functionalizing Carbon Nanotubes with Stearate Titanium], *Transactions of the Tambov state Technical University*, 2015, vol. 2. no. 2, pp. 360-366, doi: 10.17277/vestnik.2015.02.pp.360-366 (In Russ., Abstract in Eng.)

16. Blokhin A.N., Tarov V.P., Tolstykh M.S. [Influence of Nanodisperse Particles on Property of Polymeric Matrixes], *Transactions of the Tambov state Technical University*, 2012, vol. 18, no. 3, pp. 737-741. (In Russ., Abstract in Eng.)

Technologische Grundlagen der Funkzionalisation der mehrwändigen Kohlenstoffnanoröhre von dem Titanstearat für dienachfolgenden Produktion der Verbundwerkstoffe

Zusammenfassung: Es ist die Analyse der Methoden des Erhaltens der stabilen Dispersionen der Kohlenstoffnanoröhre im Wasser und in den polaren organischen Lösungsmitteln, die in der Produktion der polymeren Verbundwerkstoffe und der Schmierstoffe verwendet werden, durchgeführt. Es sind drei wesentlichen Merkmale dieser Methoden, die die Formirung auf den Oberflächen der Röhre der titanfettsäuren Modifikationsschicht aus der Wasserlösung der Reagenzien gewährleisten, gezeigt. Es ist das Schema der Linie des Erhaltens der von dem Titanstearat funktionalisierten Kohlenstoffnanoröhre angeführt, das fünf Stadien hat: die Synthese des wasserlöslichen Bisdreiäthanolamintitanates; die Synthese des Dreiäthanolamin des Salzes der fettigen Säure; die Ultraschalldispersion der Kohlenstoffnanoröhre in der Wasserlösung, die das Dreiäthanolamin des Salzes der fettigen Säure und Bisdreiäthanolamintitanat enthält; die Bearbeitung der Dispersion vom kohlenwasserstoffhaltigen Gas; die Filtrierung des Produktes und seine Wäsche vom Dimineralwasser, das vom Kohlenwasserstoffgas auf dem Filter-Trockner gesättigt ist. Es sind die Bestandteile der technologischen Ausrüstung für die Realisation dieser Stadien ausgewählt.

Bases technologiques de la fonctionnalisation des nanotubes carboniques à plusieurs parois par stéarate de titane pour la production ultérieure des composites

Résumé: Est effectuée l'analyse des méthodes de l'obtention des dispersions stables des nanotubes carboniques dans l'eau et dans les solvants organiques polaires qui sont appliqués dans la fabrication des composites polymères et des lubrifiants. Sont déduits trois indices essentiels de ces méthodes assurant la formation d'une couche modificateuse acide grasse de titane à partir de la solution aqueuse de réactifs sur la surface des tubes. Est cité le schéma de la ligne de la réception des nanotubes carboniques fonctionnalisés par stéarate de titane qui se compose de cinq étapes: synthèse de bis-triéthanolamine-titanate soluble; synthèse du sel triéthanolamine de l'acide gras; dispersion ultrasonique des nanotubes carboniques dans une solution aqueuse contenant le sel d'acide gras de triéthanolamine et le bis-triéthanolamine-titanate; traitement de la dispersion par le dioxyde de carbone; filtration et rinçage du produit. Est présenté l'équipement technologique pour la mise en œuvre de ces stades.

Авторы: *Ткачев Алексей Григорьевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Техника и технологии производства нанопроductов»; *Таров Дмитрий Владимирович* – аспирант кафедры «Техника и технологии производства нанопроductов»; *Таров Владимир Петрович* – кандидат технических наук, профессор кафедры «Техника и технологии производства нанопроductов»; *Шубин Игорь Николаевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Техника и технологии производства нанопроductов», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.

Рецензент: *Рухов Артём Викторович* – доктор технических наук, доцент, и. о. заведующего кафедрой «Химия и химические технологии», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.