



**Конкурс для школьников «Гениальные мысли»  
Автореферат проекта призера III степени среди 9 классов**

**Название работы – Углеродные нанотрубки – свойства, способы получения и применения.  
Автор – Исаев Даниил Викторович (9 класс, ГБОУ "СОШ № 57 с реализацией дополнительных программ в области искусств", г. Севастополь).  
Руководитель – Прокопенко Анна Вячеславовна, учитель физики, ГБОУ "СОШ № 57 с реализацией дополнительных программ в области искусств", г. Севастополь.**

**Основная идея работы, цели, задачи**

*Идея работы:* с целью популяризации нанотехнологий, привлечения школьников к изучению данной темы, создания команды единомышленников-новаторов, в познавательной форме рассказать о свойствах, способах применения и получения углеродных нанотрубок.

*Цель работы:* проанализировать роль нанотехнологий в различных сферах и предложить идеи по применению углеродных нанотрубок.

*Задачи:*

1. Собрать, обработать и систематизировать информацию.
2. Изложить на понятном языке о свойствах, способах получения и применения углеродных нанотрубок.
3. Предложить свой способ применения углеродных нанотрубок.
4. Проанализировать перспективность использования УНТ в будущем.
5. Рассмотреть возможность самостоятельного проведения экспериментов в области наноматериалов.

**Актуальность и новизна работы**

*Актуальность:* в настоящее время развитие нанотехнологической картины мира определяет направления развития многих сфер деятельности. Нанотехнологии являются новым направлением науки и технологии, активно развивающимся в последние десятилетия. Наши школьные увлечения часто определяют дальнейший жизненный путь. Нанотехнологии – это будущее науки, а значит это и наше актуальное будущее.

*Новизна работы:* в работе предложено авторское видение применения углеродных нанотрубок.

*Проблема:* проблема отсутствия широкой информированности в школах в области нанотехнологий и одновременно возрастающий интерес к этой теме побудили меня к участию в данном проектном исследовании.

## Основные результаты

### Что представляют из себя углеродные нанотрубки

Углеродные нанотрубки представляют собой синтезированные (искусственно созданные) полые цилиндрические графитовые плоскости, состоящие из приблизительно 1 миллиона атомов углерода. Их поверхность образует множество шестиугольников, соединенных между собой атомами углерода.

На вид трубок и их свойства влияет их хиральность. Хиральность — это свойство молекулы не совмещаться в пространстве со своим зеркальным отражением. Простым языком, хиральность — это когда сворачиваешь лист бумаги ровно. В другом случае это уже ахиральность.

Углеродные нанотрубки бывают разной формы, например: прямые, зубчатые и спиральные. Также, прямые трубки делятся на однослойные и многослойные. Однослойные нанотрубки — самый простой вид УНТ, состоящий, как это понятно из названия, из одного графитового слоя. Их диаметр составляет около 1 нанометра (нанометр — одна миллиардная часть метра), а длина может достигать несколько микрон (микрон — одна миллионная часть метра).

В свою очередь, многослойные углеродные нанотрубки содержат несколько графитовых слоев. То есть, фактически они представляют собой углеродные нанотрубки, внутри которых находятся углеродные нанотрубки меньших размеров. Также, углеродные нанотрубки способны поглощать различные излучения, такие как электромагнитные волны.

Интересный факт: предком нанотрубок можно считать графит, ведь при пропускании электрического разряда, молекулы графита начинали перестраиваться, и графит начинал походить на полые трубки толщиной в один атом углерода.

### История

Хоть углеродные нанотрубки были получены примерно в 70-х, интерес к ним начал появляться лишь в 90-х, после выпуска в массы в 1991 году работы японского исследователя С. Ииджимы из компании NEC в журнале Nature. В ходе получения фуллерена C<sub>60</sub> — самого известного на данный момент фуллерена, а ранее новой, плохоизученной формы углерода, Ииджима обнаружил УНТ. Именно после его работы интерес к УНТ вспыхнул во всем мире.

### В чем заключается интерес к углеродным нанотрубкам

Интерес к нанотрубкам, в первую очередь, обусловлен широким спектром химических, физических и элеткрических свойств, гарантирующий им большую популярность в разных сферах промышленности.

### Свойства углеродных нанотрубок

Несмотря на то, что нанотрубки состоят из атомов углерода, они обладают удивительными свойствами, благодаря которым превосходят другие материалы. Великое множество полезных для человека свойств обусловлены одномерной структурой углеродных нанотрубок.

- *Оптические свойства*

Пользуясь этими свойствами, можно создать новые устройства микрооптики.

- *Прочность*

УНТ в 25 раз прочнее, чем высокопрочная сталь.

- *Теплопроводимость*

Теплопроводимость у нанотрубок в 2 раза выше, чем у алмаза.

- *Термоустойчивость*

Возможность разогреть их до 1500 градусов, не боясь разрушения.

- *Химическая реактивность*

УНТ обладают высокой химической реактивностью в сравнении с листом графена (аллотропной модификацией углерода).

- *Электропроводность*

Однослойные углеродные нанотрубки превосходно чувствуют себя как в роли проводников, так и полупроводников, что дает им возможность конкурировать с кремнием. Тип проводимости можно определить по индексу хиральности. При условиях, что разность индексов равна 0 или кратна 3, получатся нанотрубки с металлическими свойствами. При иных условиях, как не трудно догадаться, получают полупроводниковые нанотрубки. То есть, свойства УНТ зависят от хиральности.

- *Липучесть*

Нанотрубки обладают довольно развитой поверхностью, но слабым сцеплением с материалом фильтра, поэтому с фильтра их можно снять и поместить практически на любой материал.

### Способы получения углеродных нанотрубок

Способы получения нанотрубок делятся на физические (испарение, десублимация) и химические (разложение соединений, содержащих углерод).

#### *Физические:*

- *Метод электродугового распыления*

В герметичную камеру помещают два графитовых стержня и пропускают электрический заряд между ними. Температура пламени между стержнями достигает более 4000 градусов. После этого, стенки камеры и один из стержней охлаждают водой. В результате, с поверхности второго, не охлажденного стержня испаряется графит и оседает в охлажденных участках камеры. При рассмотрении осадка на охлажденном стержне графита через электронный микроскоп, можно увидеть УНТ.

- *Метод лазерного испарения графита*

Этот метод позволяет получать нанотрубки разного диаметра путем изменения мощности лазера. В кварцевой трубке, за графитовой мишенью, помещают охлаждаемую площадку. Эту кварцевую трубку кладут в печь и разогревают до 1000 градусов. Далее, происходит облучение графитовой трубки лазерным лучом, диаметр которого составляет около полутора миллиметров. При облучении, частички графита, среди которых находятся нанотрубки, слетают с мишени на охлаждаемую площадку.

- *Метод раскаленной нити — аэрозольный метод.*

Основан на испарении паров металла с раскаленной нити. Железную проволоку разогревают до 1500 тысяч градусов, после чего через проволоку пропускается газ (обычно водород и аргон). Железо испаряется, и в области проволоки образуется пар железа — происходит образование каталитических частиц, которые поступают в реактор. После попадания катализатора в реактор, туда помещают источник углерода, например монооксид углерода (СО). В итоге, в реакторе протекает две каталитические реакции — реакция диспропорционирования источника углерода (перераспределения атомов) и взаимодействия углерода с водородом. Обе реакции приводят к образованию атомов углерода, необходимых для синтеза углеродных нанотрубок. Сами нанотрубки вырастают по мере прохождения через реактор, нагретого до 1000 градусов, после чего эти нанотрубки улавливаются во время фильтрации.

*Химические:*

- *Метод разложения паров ферроцена — аэрозольный метод.*

Как это понятно из названия, для проведения этой реакции используется порошок с ферроценом. Ферроцен обладает неординарным свойством — при комнатной температуре его не нужно нагревать. Используя это свойство (при комнатной температуре), через порошок с ферроценом пропускается источник углерода. Происходит испарение ферроцена, и газ вносится в реактор через охлаждаемый водой патрубком. В свою очередь, ферроцен распадается в реакторе и происходит образование каталитических частиц железа. На поверхности катализатора происходит распад источника углерода, после чего образуются атомы углерода. Как и в предыдущем методе, УНТ улавливаются фильтром.

Впрочем, ученым еще предстоит найти способ, благодаря которому можно определить чиральность и металличность нанотрубок.

Как говорилось ранее, эти методы позволяют получать нанотрубки без примесей, то есть сразу пригодные для применения. Также, эти методы позволяют варьировать диаметр нанотрубок и, в зависимости от времени фильтрации, получать нанотрубки разной толщины, что влияет на их проводимость и прозрачность.

- *Метод химического осаждения из пара*

В настоящее время, это самый практичный и распространенный способ, так как он позволяет получать большое количество одинаковых нанотрубок. Через кварцевую трубку, находящуюся в печи, нагретой до 1000 градусов, пропускают газовую смесь, содержащую углерод. В качестве катализатора в кварцевой трубке находятся металлические частицы, с которыми газ вступает в химическую реакцию. В итоге, на катализаторе образуются нанотрубки диаметром до 10 нанометров и длиной несколько десятков микрон. От условий, при которых протекала химическая реакция (температура, давление и др.), зависят размеры нанотрубок.

Минус этих методов заключается в том, что нанотрубки получаются с примесью частиц графита и металлов. Конечно, можно использовать различные методы очистки, которые делятся на физические (механические), к которым можно отнести фильтрацию и обработку ультразвуком, и химические, к которым относятся промывание в различных реактивах и нагревание. Но и можно использовать методы получения углеродных нанотрубок без примесей.

## Применение углеродных нанотрубок

- *Компоненты для гибкой электроники и солнечных батарей*

Благодаря различным свойствам углеродных нанотрубок, их можно применять в разных сферах промышленности.

Первое место по популярности займут легкие и прочные материалы для автомобильной, авиационной и аэрокосмической промышленности. К примеру, УНТ и материалы на их основе могут использоваться в качестве топливной ячейки, материалов, поглощающих различные типы излучений, емкостей для транспортировки различных веществ, химических и биологических датчиков, электродов для экранов дисплеев.

Последний пункт я бы хотел рассмотреть поподробнее.

Одним из наиболее интересных способов применения является использование нанотрубок при создании гибкой электроники и солнечных батарей. Для этих целей должны быть созданы пленки, в которых УНТ играют роль прозрачных электродов, обладающих высокой проводимостью и прозрачностью.

Первое, что приходит в голову — использование большого количества нанотрубок, набор состоящий из нанотрубок с разными свойствами. Однако, этот способ имеет ряд недостатков, к примеру, такие наборы нанотрубок поглощают большое количество света, хотя за проводимость отвечают только несколько металлических нанотрубок, а как описано выше, нет способа, благодаря которому можно определить металличность нанотрубок, тем самым выявив подходящий набор нанотрубок.

Если не подходят наборы нанотрубок, то почему бы не попробовать перевернуть то же самое с одиночными нанотрубками? Тут дела обстоят на порядок лучше. Но появляется другая проблема — получение таких нанотрубок. В этом нам помогут уже описанные выше способы получения нанотрубок с использованием реактора. Сам процесс создания пленок очень прост. При осаждении нанотрубок на фильтре, а я напомним, что, в зависимости от времени фильтрации, зависит проводимость и прозрачность нанотрубок, их нужно перенести на вторичную подложку, в чем помогает их свойство прилипать почти к любому материалу и с легкостью отлипать от фильтра.

Увы, в настоящее время данная технология не способна конкурировать за место на дисплее вашего смартфона, так как жестко стоит вопрос об увеличении проводимости и уменьшении поверхностного сопротивления. Этот вопрос, также как и вопрос о прозрачности нанотрубок, играющих роль электродов, играет важнейшую роль при создании конкурентоспособного покрытия с использованием нанотрубок на твердых поверхностях (например, на стекле).

- *Слуховые аппараты*

В недалеком прошлом из всего одной нанотрубки был создан радиоприемник, полностью повторяющий функции обычного радио. Это и факт того, что такой радиоприемник может передавать и принимать сигнал как внутри, так и снаружи клетки, подтолкнули ученых на мысль о применении нанотрубок при создании слуховых аппаратов. Вместо громоздких слуховых аппаратов можно будет поместить радиоприемник наноразмеров в клетках мозга, подсоединив его к слуховой системе, и передавать на него радиосигнал. Это должно улучшить качество звука по сравнению с обычными слуховыми аппаратами.

- *Нанотранзисторы*

Благодаря своим эмиссионным свойствам, УНТ могут как использоваться в качестве элементов в микро- и нано- электронике. Уже был представлен нанотранзистор на основе углеродной нанотрубки, диаметр которой меньше толщины человеческого волоса в 104-105 раз. Нанотранзистор представляет собой циклическую структуру, обод которой составляет несколько десятков атомов углерода.

Такие транзисторы выполняются на кремниевой подложке, покрытой слоем окисла (соединением химического элемента с кислородом, в котором сам кислород связан только с менее электроотрицательным элементом) и выделяются от всех других типов транзисторов меньшими размерами и оптимизированным энергопотреблением. К тому же, недавно инженеры Висконского университета в Маддисоне смогли создать нанотранзистор с использованием УНТ, превосходящий привычные нам кремниевые транзисторы. Подробнее об этом можно почитать в статье по следующей ссылке

[https://www.engineering.com/DesignerEdge/DesignerEdgeArticles/ArticleID/13051/Carbon-Nanotube-Transistors-Finally-Outperform-Silicon.aspx?e\\_src=relart](https://www.engineering.com/DesignerEdge/DesignerEdgeArticles/ArticleID/13051/Carbon-Nanotube-Transistors-Finally-Outperform-Silicon.aspx?e_src=relart)

- *Термоматериалы*

Благодаря высокой теплопроводимости нанотрубок их можно использовать там, где необходима передача тепла из одной точки в другую. Например, как теплоотводы для чипов.

- *Волокна и ткани из углеродных нанотрубок*

Уже существуют компании, предлагающие волокна и нити как из чистых нанотрубок, так и из композитов, включающих нанотрубки. Эти крайне прочные волокна могут быть применены в разнообразных отраслях промышленности, в таких как оборонная, для создания сверхпрочных бронежилетов и брони.

- *Фильтрация воды, воздуха и газообразных веществ с помощью углеродных нанотрубок*

Уже давно существуют и используются специальные фильтры воды и воздуха на основе нанотрубок. На практике выявлено, что помимо того, что такие фильтры улавливают мельчайшие частицы фильтруемых веществ, они еще и убивают большинство бактерий. Также, уже используются фильтры для различных газообразных продуктов и топлива.

- *Биомедицинские применения углеродных нанотрубок*

Благодаря тому, что большая часть тела человека состоит из углерода, появилась идея о биосовместимости УНТ с живыми тканями человека. В ходе опытов было установлено, что токсичный эффект на ткани человека отсутствует. Так как не происходит слияния клеток человека с нанотрубками, можно создавать протезы и импланты в основе которых лежат УНТ. К тому же, на практике было показано, как спираль ДНК соединили с нанотрубкой и ввели в клетку, что может занять популярность в генной инженерии.

Более того, существуют исследования о создании искусственных мышц, гораздо сильнее биологических, а также устойчивых к химическим воздействиям разного типа.

Другое применение нанотрубок связано с использованием их как транспортных средств, исполняющих роль доставщиков лекарств в организм, хотя механизмы проникновения нанотрубок в клетки все еще не понятны.

### Мои мысли о потенциальном применении углеродных нанотрубок

- *Создание устройств с микрооптикой для внутреннего обследования человека*

Как уже было сказано, УНТ обладают оптическими свойствами, то есть они не должны ухудшать оптические свойства линз. Исходя из этого, у меня появилась идея о добавлении УНТ в материалы, используемые для изготовления микрооптики (кварц, Si, Ge, ZnS и др.) с целью увеличения прочности линз. Мало того, что такие линзы сами по себе могут стать практичным новшеством в лазерной хирургии, так ведь, используя линзы с добавлением УНТ в купе со свойством электропроводимости нанотрубок и их способностью принимать сигнал, находясь внутри клетки, можно создать устройство, способное облегчить выявление поражения тканей человека.

Объясню — я говорю о создании микробота, питающегося энергией батареи, созданной из УНТ. Для контроля над ботом на него можно установить радиоприемник, а также наносенсоры, передающие информацию об окружающей бота среде. Энергия к этим и другим частям бота будет передаваться по тем же нанотрубкам благодаря их свойству электропроводимости. Но главным атрибутом такого микробота станет установленный на него микроскоп, в котором будет использоваться микрооптика с УНТ. Благодаря микроскопу станет возможно исследование внутренних тканей человека на молекулярном уровне, при этом не воздействуя на него различного рода вредоносными излучениями. А для записи полученной с помощью микроскопа информации можно установить жесткий диск микроскопических размеров.

- *Напыление на углеродные нанотрубки*

Я считаю хорошей идеей создавать “модифицированные” УНТ с напылением различных веществ для дальнейшего применения. Например, напыление на углеродные нанотрубки оксида цинка позволит создавать волокна из нанотрубок, способные поглощать различные виды излучений. Этому можно придумать множество применений — от создания солнцезащитных очков, полностью исключая воздействие ультрафиолетового излучения на глаза до пошива военной одежды, благодаря которой солдаты станут невидимыми для приборов ночного видения, так как эти приборы восприимчивы к инфракрасному излучению.

- *Создание стройматериалов на основе углеродных нанотрубок*

Другая идея — создание строительных материалов на основе УНТ. Только представьте, если бы появились материалы, обладающие свойствами нанотрубок. Это открыло бы возможность строить здания из сверхпрочного материала, к тому же, невосприимчивого к высоким температурам, что может свести разрушение зданий во время пожаров к минимуму.

## **Выводы, заключение, перспективы**

### *Перспективность*

На данный момент, основные способы применения углеродных нанотрубок касаются применения многослойных углеродных нанотрубок. В свою очередь, однослойные углеродные нанотрубки не так хорошо исследованы, причиной чего является более раннее получение многослойных углеродных нанотрубок. Также, не существует еще дешевого и одновременно надежного способа выращивания однослойных нанотрубок, который позволял бы получать нанотрубки без примесей и с заданной хиральностью. Но несмотря на это, уже в настоящее время существует множество способов применения УНТ, количество которых в будущем только увеличится. Ведь уже в сейчас УНТ можно использовать при создании таких невероятных, казалось бы, объектов, как искусственные мышцы, обладающие большей силой и устойчивостью к химическим воздействиям разного типа. Что уж говорить о будущем, в котором мы научимся выращивать нанотрубки настолько длинные, что появится возможность создания космического лифта!

### *Вывод*

Подводя итог проделанной мною работы, я хочу сказать, что благодаря своим удивительным свойствам, углеродные нанотрубки имеют огромный потенциал. И несмотря на то, что для некоторых способов применения необходимы немалое количество времени и инвестиций на исследования и разработку новых, более дешевых и надежных способов получения нанотрубок, углеродные нанотрубки имеют широкое применение и большое влияние на мир уже сейчас.

### *Заключение*

В ходе работы над своим проектом я узнал много нового как о нанотехнологиях в целом, так и об углеродных нанотрубках в частности, что позволило мне составить для себя нанотехнологическую картину мира, основываясь на которой, я смог предложить свои способы применения УНТ в будущем. После чего, я систематизировал и изложил весь материал в своем проекте.

## **Список цитированных источников**

1. <https://theecology.ru/interesting/nanotehnologii-uglerodnyie-nanotrubki#i>
2. <https://postnauka.ru/video/57995>
3. <https://www.startbase.ru/knowledge/articles/6>
4. <https://studfile.net/preview/5701969/page:15/>
5. <https://www.engineering.com/ElectronicsDesign/ElectronicsDesignArticles/ArticleID/17935/Carbon-Nanotubes-Transistors-The-Future-of-Electronic-Devices.aspx>
6. [https://www.engineering.com/DesignerEdge/DesignerEdgeArticles/ArticleID/13051/Carbon-Nanotube-Transistors-Finally-Outperform-Silicon.aspx?e\\_src=relart](https://www.engineering.com/DesignerEdge/DesignerEdgeArticles/ArticleID/13051/Carbon-Nanotube-Transistors-Finally-Outperform-Silicon.aspx?e_src=relart)
7. “Занимательные нанотехнологии” за авторством М. М. Алфимовой.