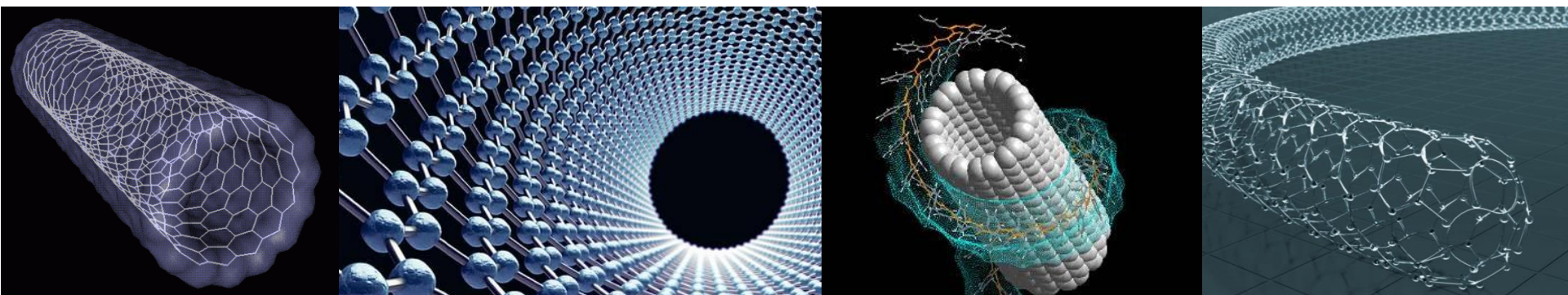




Центр нанотехнологий и наноматериалов  
Республики Мордовия

## Разработка технологических параметров изготовления высокопрочного МКМ на основе алюминия, армированного УНТ





# ИОКР: Разработка технологии изготовления металлического композиционного материала на основе алюминиевого материала, армированного углеродными нанотрубками

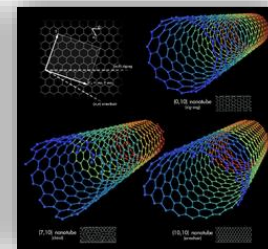
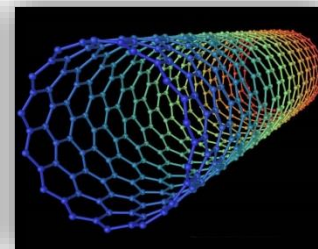
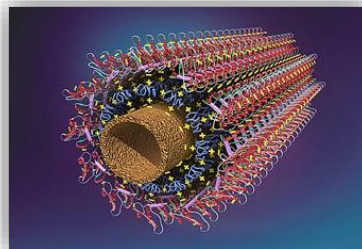
## ЦЕЛИ ПРОЕКТА

- ❖ получение экспериментальных образцов композиционного материала с выбранными составами алюминиевого матричного сплава с различным содержанием углеродных нанотрубок и исследование его свойств;
- ❖ разработка технологии изготовления высокопрочного металлического композиционного материала на основе алюминиевого сплава, армированного углеродными нанотрубками.

## КОНКУРЕНТНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА\*

- высокопрочный металлический композиционный материал;
- высокая теплопроводность и низкий коэффициент теплового расширения;
- коррозионная стойкость;
- эффективный процесс производства.

\* Указаны преимущества, которыми потенциально может обладать будущая разработка. Точный перечень конкурентных отличий (в т.ч. с указанием реальных значений характеристик продукта) будет получен по итогам ИОКР.



## ПРОДУКТ

- экспериментальные образцы композиционного материала с выбранными составами алюминиевого матричного сплава с различным содержанием углеродных нанотрубок;
- технология изготовления высокопрочного металлического композиционного материала на основе алюминиевого сплава, армированного углеродными нанотрубками.

## СУТЬ ИННОВАЦИИ

В результате ИОКР на основе выбранных составов алюминиевого матричного сплава с включением в состав углеродных нанотрубок планируется получить образцы композиционного материала, обладающего улучшенными характеристиками (повышенная прочность, высокая теплопроводность, низкий коэффициент теплового расширения) для различных областей электротехнической промышленности.

# Характеристики углеродных нанотрубок (УНТ)



Нанотрубка

Углеродные нанотрубки (турбулены) – протяжённые цилиндрические структуры диаметром от одного до нескольких десятков нанометров и длиной до нескольких сантиметров, состоящие из одной или нескольких свёрнутых в трубку гексагональных графитовых плоскостей и заканчивающиеся обычно полусферической головкой, которая может рассматриваться как половина молекулы фуллерена.

Тип строения трубки влияет на её химические, электронные и механические свойства.

**Однослойные трубки** содержат меньше дефектов, а после высокотемпературного отжига в инертной атмосфере можно получить и бездефектные трубки.

**Многослойные нанотрубки** отличаются от однослойных значительно более широким разнообразием форм и конфигураций.

Углеродные НТ обладают уникальными упругопрочностными, теплофизическими и электрическими свойствами.

Характеристика	Однослойные нанотрубки (диаметр 10 нм, длина 100 нм)	Многослойные нанотрубки (диаметр 200 нм)	Сталь
модуль упругости	1280–1800 ГПа	600 ГПа	210 ГПа
прочность при растяжении	45,0 ГПа	7,0 ГПа	20–2,2 ГПа

Другие характеристики	Значение	Комментарий
удельная поверхность	500 – 1500 м <sup>2</sup> /г	-
коэффициент теплопроводности вдоль оси	500 – 5500 Вт/м·К	у кремния - 150 Вт/м·К, у меди – 400 Вт/м·К
удельное сопротивление (в зависимости от хиральности нанотрубки)	от 5×10 <sup>-6</sup> до 0,8 Ом·см	у меди – 1,67×10 <sup>-6</sup> Ом·см
плотность тока (при напряженности электрического поля в несколько вольт на миллиметр)	100 мкА/см <sup>2</sup> для многослойных нанотрубок (в частности, марки CN-CVD, производитель – ULVAC, Япония); до 109 А/см <sup>2</sup> для нанотрубок кресельной хиральности	медь в этих условиях плавится



# Металломатричные композиционные материалы с углеродными нанотрубками (ММКМ с УНТ)

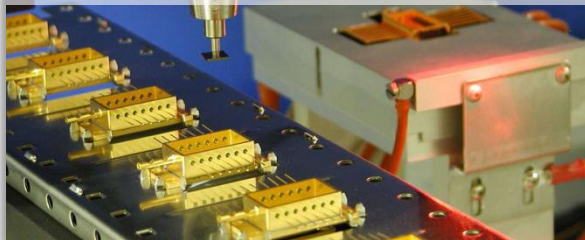
Потенциально для разрабатываемого материала могут быть характерны общие свойства других ММКМ с УНТ. Однако конечный результат будет определяться материалом металлической матрицы (в данном случае алюминий), содержанием и соотношением используемых материалов, используемой технологией изготовления и рядом прочих факторов, определяющих уникальность конкретной разработки.

## Свойства металломатричных композитов с углеродными нанотрубками:

- УНТ равномерно диспергируются по металлу, между нанотрубками и металлической матрицей наблюдается сильная межфазная адгезия.
- ММК с УНТ обладают превосходными электрическими свойствами и используются для армирования металлов с целью улучшения их электрических свойств.
- Углеродные нанотрубки характеризует чрезвычайно высокая теплопроводность, что позволяет металлическим матрицам с УНТ использоваться для теплового управления.
- Термические свойства ММК с УНТ могут быть улучшены на основе распределения и соединения УНТ с матрицей.
- Производство ММК с УНТ является экономически целесообразным.
- Добавление УНТ в композиционные покрытия увеличивает их коррозионную стойкость.
- ММК имеют высокую теплопроводность и низкий КТР.

# Области применения ММКМ с УНТ

Корпусирование электронных схем:  
припои и радиаторы для теплового  
управления



Автомобильная промышленность:  
шестерни, тормозные колодки, поршневые  
кольца и гильзы цилиндров



Космическая техника: структурные  
радиаторы и антенные системы с высоким  
коэффициентом усиления



Аэрокосмическая промышленность:  
посадочные устройства и тормоза  
самолета



Микроэлектромеханические системы  
(МЭМС) и чувствительные элементы  
для аккумуляции и хранения  
энергии: хранение водородных  
материалов, микро-излучения и микро-  
передачи, аноды и анодные покрытия



Спортивная индустрия: ракетки для  
бадминтона и тенниса, легкие велосипеды



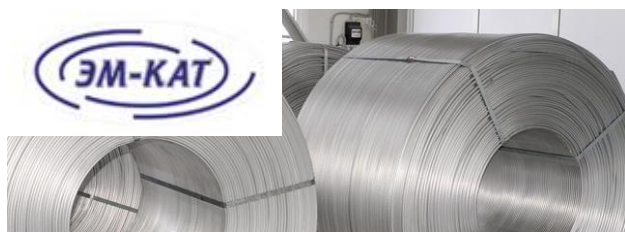
Некоторые другие области применения ММК с УНТ:

- Они используются в качестве катализаторов и датчиков.
- Они выпускаются в виде пасты из металлических наночастиц с нанотрубками в жидкой среде, что позволяет их высушить до состояния пленки, а затем использовать в качестве электродов в сенсорных устройствах или непосредственно в качестве электродов в основной форме.

# Потенциальный потребитель – ООО «ЭМ-КАТ»

Группа Компаний «Оптикэнерго» включает в себя 11 независимых предприятий, в т.ч. осуществляющих промышленное производство:

- «Саранскабель-Оптика»,
- «ЭМ-КАБЕЛЬ»,
- «ЭМ-КАТ»,
- «ЭМ-ПЛАСТ»,
- «САРМАТ».



ООО «ЭМ-КАТ» является производителем алюминиевой катанки и катанки из алюминиевых сплавов для электротехнических целей. Катанка производится методом непрерывного литья и одновременной прокатки на базе комплексной автоматической линии фирмы «Continuus-Properti S.P.A.», Италия.

**Потенциальный объем потребления МКМ с УНТ:  
10 тыс. т в год**



№ 44 от 25.04 2014 г.  
на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Генеральному директору  
ООО «ЦНН»  
Кравину Д.Н.  
430034, г. Саранск  
ул. Лодыгина, д.3  
тел. +7 (8342) 33-60-63

Уважаемый Дмитрий Николаевич!

Учитывая, ранее достигнутые договоренности, ООО «ЭМ-КАТ» подтверждает свою заинтересованность в получении и последующем применении результатов проекта, посвященного разработке высокопрочного алюминиевого сплава серии 6000, полученного кристаллизацией из расплава, с применением токопроводящих углеродосодержащих модифицирующих добавок, с целью улучшения электропроводности и механических свойств разрабатываемого сплава.

ООО «ЭМ-КАТ», как производитель катанки из алюминиевых сплавов для электротехнических целей, крайне заинтересовано в выпуске инновационной и импортозамещающей продукции поставляемой на Российский рынок. В связи с этим отмечаем перспективность и актуальность проводимых работ в данном направлении. Физические характеристики экспериментальных образцов алюминиевого сплава с применением токопроводящих углеродосодержащих модифицирующих добавок должны иметь следующие значения:

- удельное электрическое сопротивление – не более 0,0300 Ом\*мм<sup>2</sup>/м;
- временное сопротивление разрыву (при испытании образца Ø 9,5 ±0,3 мм, длиной 100 мм) – не менее 200 МПа;
- относительной удлинение (при испытании образца Ø 9,5 ±0,3 мм, длиной 100 мм) – не менее 23 %.

В связи с вышеизложенным ООО «ЭМ-КАТ» готово оказывать поддержку в развитии данного проекта, в том числе с перспективой изготовления разрабатываемого алюминиевого сплава с применением токопроводящих углеродосодержащих модифицирующих добавок, с объемом производства до 10 000 тонн в год.

Генеральный директор  
ООО «ЭМ-КАТ»

 К.И. Мантуров

См. приложенный к презентации документ  
«Письмо о заинтересованности ООО "ЭМ-КАТ"»



# Приложения

# Рынок углеродных нанотрубок (УНТ)

Основной движущей силой для инвестиций в НИОКР углеродных нанотрубок является перспектива создания улучшенных материалов, рассчитанных на широкий диапазон применений:

- ❑ В аэрокосмической промышленности нанотрубки уже используются в области защиты от радио- и электромагнитных помех.
- ❑ В автомобильном секторе – для производства электростатического покрытия и в качестве добавки в армирующие компоненты.
- ❑ В различных приложениях обороны.
- ❑ В качестве проводящих полимеров и композитов для полевых эмиссионных дисплеев.

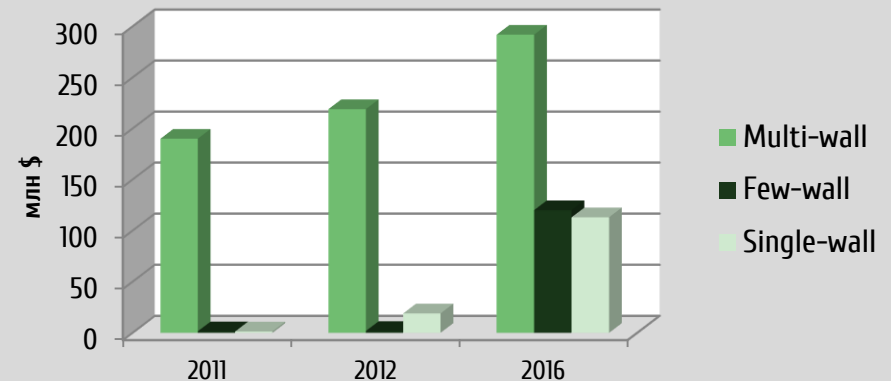
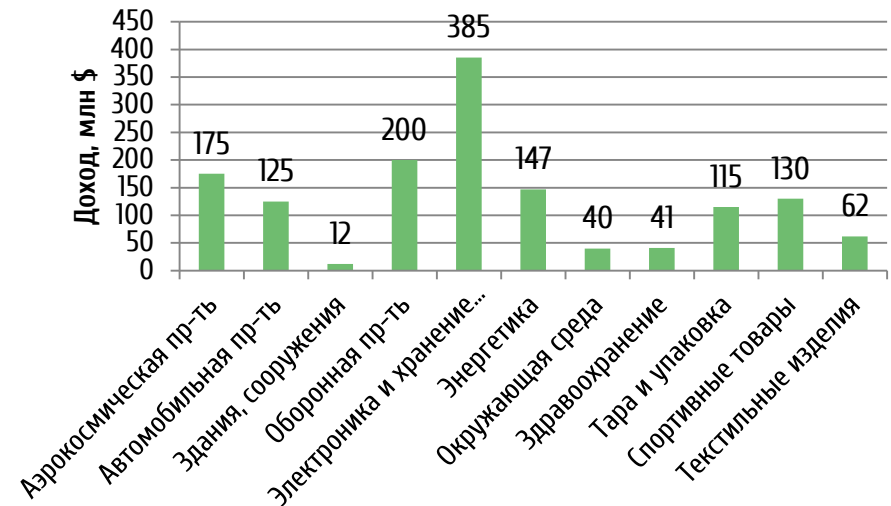
<http://www.electronics.ca/presscenter/articles/1204/1/Market-Applications-of-Carbon-Nanotubes/Page1.html>

В 2012 году величина мирового рынка различных классов углеродных нанотрубок (УНТ) составила около \$ **239 млн** (\$ 192 млн в 2011 году).

По прогнозам на следующие несколько лет в соответствии с совокупными темпами годового роста (CAGR) порядка **22,4%** к 2016 г. рынок достигнет значения в \$ **527 млн**.

<http://www.bccresearch.com/market-research/nanotechnology/carbon-nanotubes-markets-technologies-nan024e.html>

Рыночный доход от углеродных нанотрубок по основным сферам применения, 2015

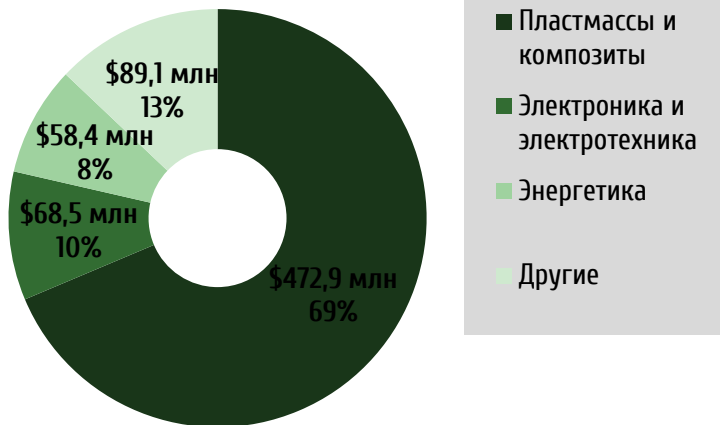




# Рынок углеродных нанотрубок (УНТ)

- Ожидается, что рынок электроники и хранения данных охарактеризуется большим распространением углеродных нанотрубок к 2016.
- Энергетика также отметится быстрым ростом в связи с расширением эксплуатационных требований к батареям, лопастям ветряных турбин, фотоэлектрическим элементам и др. в ближайшие 5-10 лет.

Доли основных сегментов рынка применения УНТ



Азиатско-Тихоокеанский регион имеет самую большую долю на рынке УНТ в основном за счет значительного электротехнического и электронного рынка, где преобладают Япония, Южная Корея, Тайвань, Китай и Сингапур.



В 2010 году США заняли наибольшую долю рынка УНТ, оказавшаяся на втором месте, опередила Китай и Германию. Среди стран Европейского союза, Франция может взять на себя инициативу по производству УНТ.

Ряд развивающихся стран, в первую очередь Китай и Индия, будут приобретать все большее значение в виду значительных сдвигов в производстве пластмасс, композиционных материалов, также электроники.

# Производители углеродных нанотрубок (УНТ)

Углеродные наноструктуры различных типов за рубежом производят следующие фирмы:

	Производители	Годовой объем производства, тонн	Способы обработки	Страна
SWCNTs (одностенные УНТ)	Unidym, Inc. (приобретена Wisepower Co.), <a href="http://www.unidym.com">http://www.unidym.com</a>	1,5	High-pressure carbon monoxide (HiPco)	США
	Toray Industries, Inc., <a href="http://www.toray.com">http://www.toray.com</a>	1,5	CCVD	Япония
	Mitsubishi Rayon Co, Ltd., <a href="http://www.mrs.co.jp/indexen.asp">http://www.mrs.co.jp/indexen.asp</a>	1,2	CVD	Япония
	SouthWest NanoTechnologies Inc., <a href="http://www.swentnano.com">http://www.swentnano.com</a>	1,0	Cobaltmolybdenum catalyst (CoMoCAT) <sup>®</sup>	США
	Kleancarbon Inc., <a href="http://www.kleancarbon.com">http://www.kleancarbon.com</a>	1,0	CVD	Канада
MWCNTs (многостенные УНТ)	Showa Denko K.K, <a href="http://www.sdk.co.jp/english">http://www.sdk.co.jp/english</a>	500	CCVD	Япония
	CNano Technology Limited, <a href="http://www.cnanotechnology.com">http://www.cnanotechnology.com</a>	500	CCVD	США
	Nanocyl S.A., <a href="http://www.nanocyl.com">http://www.nanocyl.com</a>	400	CCVD	Бельгия
	Bayer MaterialScience AG, <a href="http://www.materialscience.bayer.com/en">http://www.materialscience.bayer.com/en</a>	260	CCVD	Германия
	Arkema Inc., <a href="http://www.arkema-inc.com">http://www.arkema-inc.com</a>	50	CCVD	Франция
	Hyperion Catalysis International, Inc., <a href="http://www.hyperioncatalysis.com">http://www.hyperioncatalysis.com</a>	50	CVD	США

<http://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=23118.php>

Среди производителей, производственные мощности которых *менее 50 тонн* в год, следует выделить:

- Nanocomp Technologies Inc. (NCTI), USA,
- Eden Energy Limited, Australia,
- Iljin Nanotech, South Korea,
- NanoCarbon Technologies (NCT) Ltd., Japan,
- Ube Industries, Japan и др.



**Спасибо за внимание**

430034, Republic of Mordovia,  
Saransk, Lodygina st., 3  
Tel./Fax (8342) 333079  
e-mail: [cnn@cnnrm.ru](mailto:cnn@cnnrm.ru)

Общество с ограниченной ответственностью  
«Центр нанотехнологий и наноматериалов Республики Мордовия»  
(ООО «ЦНН»)  
430034, Республика Мордовия,  
г. Саранск, ул. Лодыгина, 3  
Тел./факс (8342) 333079  
e-mail: [cnn@cnnrm.ru](mailto:cnn@cnnrm.ru)