

**Перспективы формирования
высокотехнологичных и наукоемких
производств на основе нанотехнологий**

Что такое

нанотехнология

Термин **Нанотехнология** (Nanotechnology) был введен в 1974 г. Норио Танигучи (Norio Taniguchi) [1], который определил его как "технология производства, позволяющая достигать сверхвысокую точность и ультрамалые размеры порядка 1 нм".

Под влиянием книги Эрика Дрекслера (Eric Drexler) под Нанотехнологией в 1980-е и 1990-е годы стали понимать создание различных устройств из отдельных молекул. В качестве перспектив Нанотехнологии описывались, например, миниатюрные автономные нанороботы, которые запускались в человеческий организм и, плавая по кровеносной системе, находили больные органы и осуществляли их "ремонт". При этом под Нанотехнологией понимали, да и сейчас очень часто понимают, область науки. Однако более близким к истине стало определение Нанотехнологии, данное Альбертом Франксом (Albert Franks) в 1987 г. "Нанотехнология - это производство с размерами и точностями в области 0.1-100 нм."

Действительно, пока "молекулярные машины" Эрика Дрекслера создавались с помощью формул и компьютерного моделирования, происходил неуклонный рост традиционных технологий, которые за счет повышения точностных характеристик вступили в область Нанотехнологии. Нагляднее всего это проявилось в развитии микроэлектроники: уже производятся микросхемы с характерными размерами активных электронных элементов менее 100 нм и с субнанометровой точностью. Микроэлектронные технологии послужили также основой создания Микроэлектромеханических устройств, требования к точности изготовления которых существенно превзошли порог 100 нм.

Что такое

нанотехнология

Есть мнение, что в мире нет на сегодняшний день стандарта, что такое нанотехнологии, что такое нанопродукция. В Еврокомиссии создана специальная группа, которой дали два года на то, чтобы разработать классификацию нанопродукции. Среди подходов к определению понятия «нанотехнологии» имеются следующие:

1. В Техническом комитете ISO/ТК 229 под нанотехнологиями подразумевается следующее:

- знание и управление процессами, как правило, в масштабе 1 нм, но не исключаящее масштаб менее 100 нм, в одном или более измерениях, когда ввод в действие размерного эффекта (явления) приводит к возможности новых применений;
- использование свойств объектов и материалов в нанометровом масштабе, которые отличаются от свойств свободных атомов или молекул, а также от объемных свойств вещества, состоящего из этих атомов или молекул, для создания более совершенных материалов, приборов, систем, реализующих эти свойства.

2. Согласно «Концепции развития в Российской Федерации работ в области нанотехнологий на период до 2010 года» (2004 г.) нанотехнология определяется как совокупность методов и приемов, обеспечивающих возможность контролируемым образом создавать и модифицировать объекты, включающие компоненты с размерами менее 100 нм, хотя бы в одном измерении, и в результате этого получившие *принципиально новые качества*, позволяющие осуществлять их интеграцию в полноценно функционирующие системы большего масштаба.

Что такое

нанотехнология

Практический аспект нанотехнологии включает в себя производство устройств и их компонентов, необходимых для создания, обработки и манипуляции атомами, молекулами и наночастицами. Подразумевается, что не обязательно объект должен обладать хоть одним линейным размером менее 100 нм — это могут быть макрообъекты, атомарная структура которых контролируемо создаётся с разрешением на уровне отдельных атомов, либо же содержащие в себе нанообъекты. В более широком смысле этот термин охватывает также методы диагностики, характерологии и исследований таких объектов.

Нанотехнологии качественно отличаются от традиционных дисциплин, поскольку на таких масштабах привычные, макроскопические технологии обращения с материей часто неприменимы, а микроскопические явления, пренебрежительно слабые на привычных масштабах, становятся намного значительнее: свойства и взаимодействия отдельных атомов и молекул или агрегатов молекул (например, силы Ван-дер-Ваальса), квантовые эффекты.

Нанотехнология и в особенности молекулярная технология — новые, очень мало исследованные дисциплины. Основные открытия, предсказываемые в этой области, пока не сделаны. Тем не менее, проводимые исследования уже дают практические результаты. Использование в нанотехнологии передовых научных достижений позволяет относить её к высоким технологиям.

Развитие современной электроники идёт по пути уменьшения размеров устройств. С другой стороны, классические методы производства подходят к своему естественному экономическому и технологическому барьеру, когда размер устройства уменьшается не намного, зато экономические затраты возрастают экспоненциально.

Нанотехнология — следующий логический шаг развития электроники и других наукоёмких производств.

Перспективы использование нанотехнологий в производстве углеродных волокон и продуктов на их основе

Углеродное волокно (углеволокно, УВ) — наноструктурированный органический материал, содержащий 92–99.99% углерода и обладающий высокими значениями прочности и модуля упругости. В настоящее время наибольшее распространение получили углеродные волокна, которые используются в качестве армирующих наполнителей композитов и являются наиболее перспективными конструкционными материалами для создания ответственных изделий.

Дорожная карта рассматривает четыре основных вида углеродных волокон, имеющих необходимые показатели для широкого практического освоения в долгосрочной перспективе:

- на основе полиакрилонитрильного (ПАН) волокна;
- на основе вискозного волокна;
- на основе пекового волокна;
- волокно из газовой фазы.

Конкурентные преимущества каждого из типов углеволокна приведены в Таблице 1.

Перспективы использование нанотехнологий в производстве углеродных волокон и продуктов на их основе

Таблица 1

Сравнение видов углеродных волокон

	Вид углеродного волокна			
	на основе ПАН волокна	на основе вискозного волокна	на основе пекового волокна	волокно из газовой фазы
Прочность, ГПа	1,8–7,0	0,35–0,70	1,4–4,0	1,0–4,0
Модуль упругости, ГПа	200-600	20-60	140-930	200-300
Цена, \$/кг	40	20	300	Нет данных
Объем рынка потребления	■ ■ ■ ¹	■ □ □	■ □ □	■ ■ □ ²
Отработанность технологии	■ ■ ■	■ ■ □	□ □ □	□ □ □
Выход волокна из сырья	■ ■ ■	■ □ □	■ ■ □	□ □ □
Наличие сырья и производства в РФ	■ ■ ■	■ □ □	□ □ □	□ □ □
Биосовместимость	□	■	□	□

¹ Знак «■» — наличие признака. Обозначение степени показателя: ■ ■ ■ — высокая; ■ ■ □ — средняя; ■ □ □ — низкая; □ □ □ — показатель отсутствует.

² Углеродных волокон, получаемых из газовой фазы, в настоящее время на рынке нет. В перспективе возможно появление широкого рынка.

Перспективы использование нанотехнологий в производстве углеродных волокон и продуктов на их основе

Согласно результатам исследования, для углеродных волокон на основе ПАН существует наиболее широкий рынок — от массовых до специальных применений. Эксперты считают целесообразным использование углеродных волокон на основе вискозы в медицине, а также в тех областях, где применение именно этого типа УВ установлено нормативно. Волокна на основе пека имеют достаточно ограниченное применение, главным образом специального характера (в частности, возможно сочетание волокон на основе ПАН и пека при производстве газовых центрифуг). Технология производства углеродных волокон из газовой фазы в настоящее время находится в стадии разработки, поэтому такие волокна на рынке отсутствуют. Однако, как показало исследование, углеволокно из газовой фазы имеет перспективы широкого применения, что объясняется его ожидаемой низкой ценой при сравнительно высоких характеристиках.

***Углеволокнистые композиты** — многослойные структуры, образованные комбинацией углеродных волокон как армирующих элементов и связующего (матрицы). Механические и другие свойства композита определяются тремя основными параметрами: высокой прочностью углеродного волокна, жесткостью матрицы и прочностью связи на границе матрица–волокно.*

Композиты на основе углеродных волокон отличаются высокими значениями трех основных показателей любой конструкции — прочностью, жесткостью и низким удельным весом. Углеродные волокна превосходят все известные волокнистые наполнители композитов по значениям прочности и модуля упругости. В результате упруго-прочностные характеристики композитов на их основе значительно превышают аналогичные показатели алюминия и стали. При этом удельный вес углеродных волокон не превышает 2 г/см³, что позволяет получать конструкции вдвое легче алюминиевых и впятеро легче стальных.

Перспективы использование нанотехнологий в производстве углеродных волокон и продуктов на их основе

Дорожная карта РОСНАНО рассматривает четыре основных вида углеволокнистых композитов, имеющих необходимые показатели для широкого практического освоения в долгосрочной перспективе:

- композиты с полимерной матрицей (углепластики);
- углерод-углеродные композиты;
- композиты с металлической матрицей;
- композиты с керамической матрицей.

Сравнительные характеристики композитов приведены в Таблице 2.

<i>Таблица 2</i>				
Сравнение видов углеволокнистых композитов				
	Вид углеволокнистого композита			
	С полимерной матрицей (углепластики)	Углерод- углеродные композиты	С металлической матрицей	С керамической матрицей
Прочность, ГПа	0,9-3,5 ГПа	■ ■ □	■ □ □	■ ■ □
Модуль упругости	■ ■ ■	■ ■ □	■ ■ □	■ □ □
Технологический задел	■ ■ □	■ ■ ■	■ □ □	□ □ □
Простота технологии	■ ■ ■	■ □ □	□ □ □	□ □ □
Хемо- и термостойкость	■ □ □	■ ■ □	■ □ □	■ ■ □
Объем потребления рынка	■ ■ ■	■ ■ □	■ □ □	■ □ □

Перспективы использование нанотехнологий в производстве углеродных волокон и продуктов на их основе

Таким образом, наиболее широкий потенциальный рынок имеют углепластики (композиты с полимерной матрицей) за счет высоких физико-химических характеристик и относительной простоты изготовления. Углерод-углеродные композиты займут нишу специализированного применения, в особенности в областях, где существует необходимый технологический задел (например, тормозные диски). Композиты с металлической матрицей будут применяться в авиационной промышленности, а композиты с керамической матрицей будут использоваться в условиях высоких температур.

Мировой рынок углеродного волокна

По результатам исследования выявлены три возможных сценария развития мирового рынка углеволокна (рис. 1).

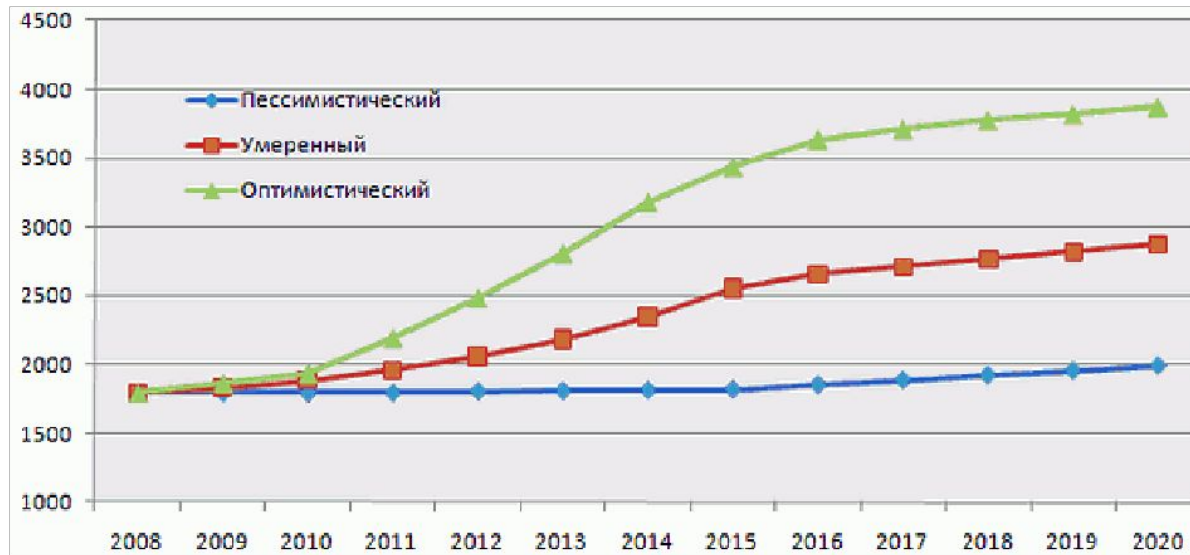


Рис. 1. Мировой рынок углеродного волокна (млн. долл. США)

Перспективы использования нанотехнологий в производстве углеродных волокон и продуктов на их основе

Таким образом, наиболее широкий потенциальный рынок имеют углепластики (композиты с полимерной матрицей) за счет высоких физико-химических характеристик и относительной простоты изготовления. Углерод-углеродные композиты займут нишу специализированного применения, в особенности в областях, где существует необходимый технологический задел (например, тормозные диски). Композиты с металлической матрицей будут применяться в авиационной промышленности, а композиты с керамической матрицей будут использоваться в условиях высоких температур.

Оптимистический сценарий предполагает, что глобальный экономический кризис проявится в сокращении темпов роста объема рынка УВ до 10% (или возможно даже сохранении существующих темпов роста в 15%). Затем вместе с возобновлением роста мировой экономики темпы увеличения рынка в реальном выражении восстановятся и составят 20–25% в год. Тем не менее, за счет снижения цены темп роста в денежном выражении окажется меньше — 10–15%. Основными движущими силами рынка будут: 1) рост спроса на УВ (в т. ч. в связи с появлением соответствующих требований и нормативов); 2) развитие и совершенствование технологий; 3) снижение цены углеволокна.

Умеренный сценарий исходит из того, что после снижения темпов до 5% в 2009–2010 гг. рост объема рынка возобновится. В среднем темпы роста в 2013-2015 гг. в реальном выражении будут составлять 10-15%, а в денежном выражении за счет снижения цены рынок будет расти на 5-10%. Основными факторами, способствующими развитию, станут поддержка стратегически важных отраслей, развитие инновационных направлений и постепенный рост спроса, связанный с нуждами оборонно-промышленного комплекса.

Перспективы использования нанотехнологий в производстве углеродных волокон и продуктов на их основе

Пессимистический сценарий основан на предположении о том, что проблемы в мировой экономике сильно отразятся в первую очередь на наукоемких отраслях. В этом случае в ближайшие два года темпы роста рынка прогнозируются на уровне 2–3%, а далее рост будет носить скорее «инфляционный» характер — на уровне 5–6% годовых. Однако эксперты оценивают вероятность реализации пессимистического сценария в долгосрочной перспективе как низкую.

Российский рынок углеродного волокна

В процессе исследования определены три возможных сценария развития российского рынка углеволокна (рис. 2).

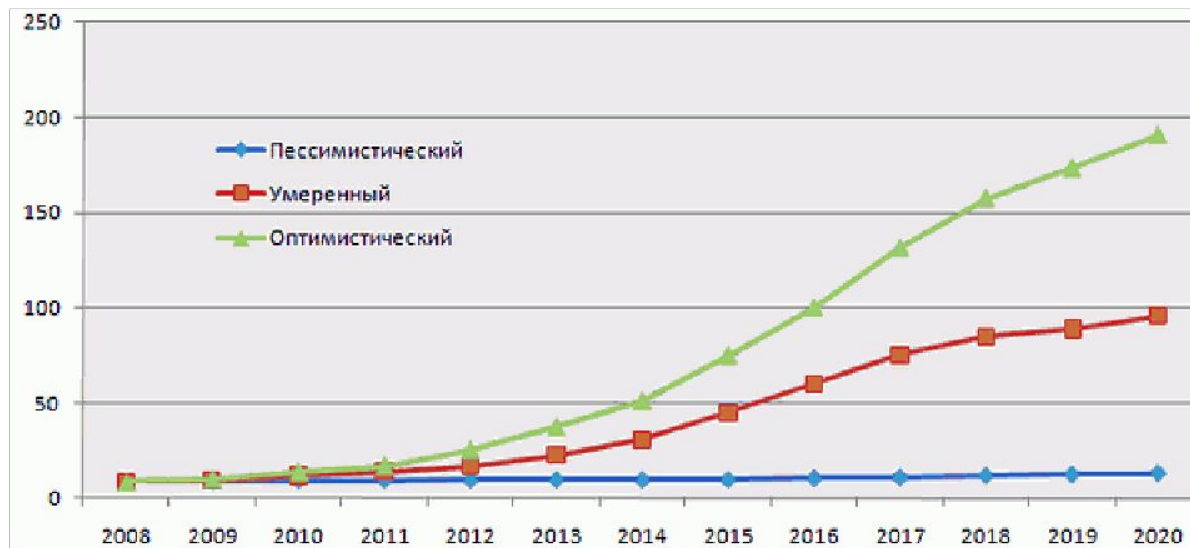


Рис. 2. Российский рынок углеродного волокна (млн. долл. США)

Перспективы использования нанотехнологий в производстве углеродных волокон и продуктов на их основе

Оптимистический сценарий предполагает, что потребление УВ в России по структуре будет соответствовать мировому, а производство выйдет на новый качественный, количественный и ценовой уровень. По этому сценарию темпы роста к 2013 г. составят в среднем 45–50% в год. При этом более вероятен не плавный рост, а резкий скачок. После 2017 г. планируется выход на среднемировые темпы роста в 10–20%. В среднесрочной перспективе экспорт из России может составить порядка 20% от общего объема производства УВ в стране. К 2020 г. производство углеродных волокон будет составлять около 5% мирового объема.

Умеренный сценарий основан на предположении, что в России будет производиться порядка 3% мирового объема УВ к 2020 г., из них 5–10% будут поставляться на экспорт. Для гражданских нужд появится отечественное производство среднего по характеристикам волокна при сохранении позиций в производстве высокомодульного волокна. К 2013 г. предполагается рост объема выпуска УВ до 600 тонн в год, что соответствует среднегодовому темпу прироста в 30-35%. Однако фактически такой равномерный рост маловероятен: эксперты прогнозируют, что в 2013 г. (год завершения федеральной целевой программы по малотоннажной химии) произойдет сильный количественный скачок. При этом темп роста в 2013–2017 гг. может даже несколько увеличиться, а далее рост будет находиться в пределах 10–15% в год.

Пессимистический сценарий предполагает, что Россия не обладает необходимыми ресурсами для выхода на значительные объемы и высокий уровень качества продукции: к 2020 г. в стране будет производиться не более 0.5% мирового объема УВ. Экспортные перспективы по качеству и цене являются неопределенными, и рост внутреннего спроса на УВ, скорее всего, будет удовлетворяться за счет импорта.

Перспективы использования нанотехнологий в производстве углеродных волокон и продуктов на их основе

Оптимистический сценарий предполагает, что потребление УВ в России по структуре будет соответствовать мировому, а производство выйдет на новый качественный, количественный и ценовой уровень. По этому сценарию темпы роста к 2013 г. составят в среднем 45–50% в год. При этом более вероятен не плавный рост, а резкий скачок. После 2017 г. планируется выход на среднемировые темпы роста в 10–20%. В среднесрочной перспективе экспорт из России может составить порядка 20% от общего объема производства УВ в стране. К 2020 г. производство углеродных волокон будет составлять около 5% мирового объема.

Умеренный сценарий основан на предположении, что в России будет производиться порядка 3% мирового объема УВ к 2020 г., из них 5–10% будут поставляться на экспорт. Для гражданских нужд появится отечественное производство среднего по характеристикам волокна при сохранении позиций в производстве высокомодульного волокна. К 2013 г. предполагается рост объема выпуска УВ до 600 тонн в год, что соответствует среднегодовому темпу прироста в 30-35%. Однако фактически такой равномерный рост маловероятен: эксперты прогнозируют, что в 2013 г. (год завершения федеральной целевой программы по малотоннажной химии) произойдет сильный количественный скачок. При этом темп роста в 2013–2017 гг. может даже несколько увеличиться, а далее рост будет находиться в пределах 10–15% в год.

Пессимистический сценарий предполагает, что Россия не обладает необходимыми ресурсами для выхода на значительные объемы и высокий уровень качества продукции: к 2020 г. в стране будет производиться не более 0.5% мирового объема УВ. Экспортные перспективы по качеству и цене являются неопределенными, и рост внутреннего спроса на УВ, скорее всего, будет удовлетворяться за счет импорта.