

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ДЛЯ СВЕРХПРОЧНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПОРТАТИВНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Перепечко Людмила Николаевна, к.ф.-м.н., начальник Отдела инновационной прикладной и внешнеэкономической деятельности,

Шарина Ирина Алексеевна, инженер по патентно-изобретательской работе,
Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск

io@itp.nsc.ru

контактный тел. (383)3356546

Введение

Наноиндустрия является одним из перспективных и востребованных направлений развития науки, технологий и промышленности в экономически развитых странах.

В настоящее время происходит формирование мирового рынка в сфере наноиндустрии. Через 2-3 года прогнозируется активный раздел этого рынка. В 2008 году его объем составит, по оценкам экспертов, около 700 млрд. долларов США. Завершение процесса разделения мирового рынка в сфере наноиндустрии ожидается к 2015 году. При этом его объем возрастет, по экспертным оценкам, до 1,2 - 1,5 трлн. долларов США. Россия располагает достаточным научным и кадровым потенциалом для ускоренного развития работ в области наноиндустрии. Фундаментальные, поисковые исследования и разработку нанотехнологий осуществляют более 150 научных организаций с численностью около 20 тыс. исследователей. Около 75 российских организаций производят и реализуют продукцию наноиндустрии в объеме более 7 млрд. руб. в год [1].

Происходит формирование мирового рынка и в области производства углеродных наноструктур. На рис. 1 представлены данные по динамике производства углеродных нанотрубок и нановолокон [2].

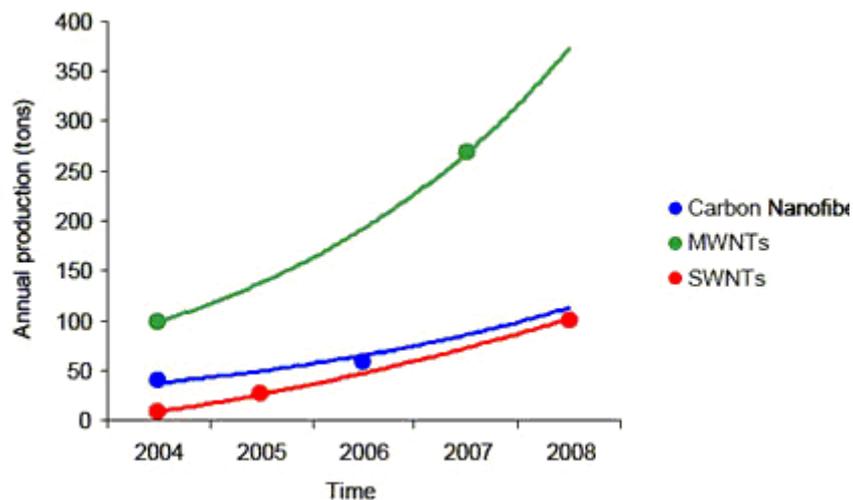


Рис. 1. Динамика производства углеродных нановолокон и нанотрубок.

Между тем, вопрос применения углеродных наноструктур и наноматериалов остается открытым.

В Институте теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН имеется ряд разработок, перспективных для использования в наноиндустрии, а именно, новая эффективная технология получения УН высокой селективности и принципиальная схема топливного элемента на алюминии [3].

Предлагаемая работа была выполнена для оценки перспективности организации производства УН, синтезируемых на основе новой технологии, для получения новых полимерных материалов с улучшенными механическими и физическими свойствами, а также для использования УН в топливном элементе. Для выполнения маркетинговых исследований использовались научно-техническая литература, информация из Интернета и данные проведенных патентного поиска и исследований.

Правительственные мероприятия для поддержки наноиндустрии

В России в 2007г. был образован Правительственный совет по нанотехнологиям, принята «Программа развития наноиндустрии в Российской Федерации до 2015г.» [4]. Источниками финансирования реализации программы развития являются бюджетные средства федеральных целевых программ, вклад РФ в госкорпорацию "Российская корпорация нанотехнологий" и другие средства. Уставной капитал Российской корпорации нанотехнологий составляет 130 млрд. руб. [5]. В результате реализации

программы ожидается, что к 2015 г. доля отечественной продукции наноиндустрии в общем объеме продукции наноиндустрии, реализованной на мировом рынке высоких технологий, составит около 3%.

К 2007г. выделены приоритетные направления НИОКР в сфере нанотехнологий в России: создание наноматериалов гражданского и двойного назначения со специфическими эксплуатационными свойствами (прежде всего прочностными характеристиками); материалы и технологии для наноэлектроники и нанофотоники; углеродные наноматериалы и наноструктуры (углеродные нанотрубки, фуллерены и др.); медицинские препараты и биоматериалы. Инфраструктурная база российского сектора наноиндустрии создается в виде национальной нанотехнологической сети (ННС) как совокупности организаций различных организационно-правовых форм, выполняющих фундаментальные и прикладные исследования, осуществляющих процессы коммерциализации технологий, а также ведущих подготовку кадров в области нанотехнологий.

Инструментом развития российской экспериментальной и технологической базы в области наноиндустрии является федеральная целевая программа "Развитие инфраструктуры наноиндустрии в Российской Федерации на 2008-2010 годы". [6], принятая [Постановлением Правительства Российской Федерации от 2 августа 2007 г. N 498](#) с общим объемом финансирования за период с 2008 по 2010 г. – 28 млрд. руб. [5].

По Федеральным целевым программам «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса», «Национальная технологическая база», Федеральной космической программе, Государственной программе вооружения, программе развития ОПК, специализированных программ РАН, РАМН и РФФИ объем финансирования в сфере нанотехнологий в 2008г. оценивается в 10,5 млрд. руб., в 2009 - в 12 млрд. руб. [5].

Состояние исследований

Углеродные нанотрубки

Впервые нанотрубки были обнаружены российскими учеными при диспропорции монооксида углерода на частицах восстановленного железа. Работа была опубликована в 1952 году, но широкой известности не получила [7].

Углеродная нанотрубка представляет собой протяженную цилиндрическую структуру, состоящую из одного или нескольких вложенных друг в друга свернутых графитовых слоев. Нанотрубки подразделяются на многостеночные, состоящие из двух и более слоев, расстояние между которыми соответствует расстоянию между графитовыми

слоями (0,34-0,39 нм) и одностеночные – состоящие из одного графитового слоя свернутого в цилиндр с диаметром 0,7-2,0 нм и длиной до сотен микрон.

Углеродные нанотрубки имеют высокую прочность и эластичность и способны выдерживать большие напряжения, не переламываясь. Томанек с соавторами [8] предсказал, что нанотрубки должны иметь необычную механическую прочность и жесткость, большие, чем у всех известных на данный момент материалов. В 1996 Эббесен и Треаси [9] исследовали многостеночные углеродные нанотрубки, выращенные на подложке, и, соответственно, имеющие закрепленное на поверхности основание и свободный конец. Они получили значение для модуля Юнга (коэффициента упругости) 1 ТПа, что в пять раз превышает значение для стали.

Современные подходы к производству углеродных нанотрубок основаны на трёх основных методах – электродуговое испарение графита или графитосодержащих композитов, лазерной абляции графита, высокотемпературном каталитическом разложении углеводородов или окиси углерода [10].

Углеродные нанотрубки стали популярным объектом исследования после того, как они были получены в 1991 году японским ученым Sumio Iijima (NEC laboratory in Japan) в саже электродугового разряда между графитовыми электродами. К достоинствам этого метода относится довольно высокая производительность, к недостаткам – высокая энергоёмкость и неселективность продукта – в одном цикле производятся однослойные и многослойные нанотрубки с большим разбросом по размерам с большим количеством примесей [11]. Вторым по времени применения является лазерная абляция. Несмотря на очевидные недостатки ввиду высокой энергоёмкости производства, данный метод используется рядом компаний, так как подбор материалов мишени, газового состава и параметров лазера можно добиться однородного состава продуктов, в частности, производства только однослойных нанотрубок с относительной узкой функцией распределения по диаметру [12].

Третий метод кардинально отличается от первых двух тем, что в качестве сырья используются различные молекулярные соединения углерода, что позволяет полностью избежать энергозатрат, связанных с испарением графита, реакции происходят при меньшей температуре. В частности, большая часть однослойных

нанотрубок малого диаметра, доступных на рынке, производится в реакции каталитической диспропорции окиси углерода. Варьирование исходного углеводорода и условий реакции позволяет получать различные виды нанотрубок. Критическим моментом этого вида технологий является приготовление катализатора, которым являются малые частицы ряда переходных металлов – никеля, железа, кобальта.

В обзоре по методам получения и применениям углеродных нанотрубок [13] рассмотрено получение нанотрубок, особенное внимание уделено химическим осаждением из газовой фазы. Представлены история вопроса и последние достижения в синтезе углеродных нанотрубок для крупномасштабного производства и получения двухстеночных углеродных нанотрубок. Описаны эффективные методы очистки без повреждения структуры и обсуждены применения углеродных нанотрубок в электрохимии, для изготовления композиционных материалов и в медицине.

В настоящее время более 100 компаний в мире занято производством нанотрубок и нановолокон [2]. В основном это компании, образованные на базе исследовательских лабораторий. Основной метод получения углеродных нанотрубок – непрерывный синтез из высокочистых газообразных низкомолекулярных углеводородов с использованием эффективных катализаторов.

Нанополимеры

В последнее время проводится большое количество исследований по модификации механических, электрических и теплопроводных свойств полимеров путем создания композитов нанотрубки–полимер [14, 15].

Основными методами создания полимер–нанотрубочного композита являются: взвешивание нанотрубок в соответствующем растворе, с последующим растворением в данной суспензии полимера, смешение расплавленных полимеров с углеродными нанотрубками (эффективен для нерастворимых полимеров), взвешивание нанотрубок в смоле до добавления отвердителя (для эпоксидных смол) и полимеризация в присутствии нанотрубок в исходном растворе. Последний метод является наиболее перспективным для промышленного применения в случае совмещенных стадий штамповки и синтеза полимерных композитов, кроме того, он

в наибольшей степени удовлетворяет требования предъявляемым к полимер – нанотрубочным композитам.

На основании обзора экспериментальных данных можно заключить, что наибольший коэффициент усиления полимера обеспечивают одностеночные углеродные нанотрубки и наиболее эффективный процесс создания композита – полимеризация *in situ*, в присутствии углеродных нанотрубок, см. табл.1.

Табл. 1. Экспериментальные данные по изменению модуля Юнга композитов нанотрубки–полимер.

Вещество	Модуль Юнга исходного вещества	Весовое содержание (%), тип углеродных нанотрубок	Модуль Юнга композита	Коэффициент усиления *	Метод получения композита
PVA	7 ГПа	0,6 Многостеночные углеродные нанотрубки (МУНТ)	12,6 ГПа	990 ГПа	Растворение полимера и смешение с нт
PVK	2 ГПа	4,8 МУНТ	5,6 ГПа	75 ГПа	Растворение полимера и смешение с нт
Polycopolymer	0,71 ГПа	1 МУНТ	2,34 ГПа	272 ГПа	Растворение полимера и смешение с нт
PMMA	2,7 ГПа	10 МУНТ	3,7 ГПа	17 ГПа	Смешение расплава полимера с нт
PA – 6	2,6 ГПа	12,5 МУНТ	4,2 ГПа	34 ГПа	Смешение расплава полимера с нт
Isotactic polypropylene	0,85 ГПа	0,75 одностеночные нанотрубки (ОНТ)	1,19 ГПа	68 ГПа	Смешение расплава полимера с нт
Эпоксидные смолы	3,1 ГПа	5 МУНТ	3,71 ГПа	18 ГПа	Взвешивание в смоле
PBO	138 ГПа	10 ОНТ	167 ГПа	550 ГПа	Полимеризация в присутствии нт
PMMA	1,5 ГПа	1 МУНТ	2,5 ГПа	150 ГПа	Полимеризация в присутствии нт

* отношение увеличения модуля Юнга к объемному содержанию углеродных нанотрубок.

Топливные элементы (ТЭ)

Создание компактных и лёгких источников питания большой энергоёмкости является насущной задачей для многих сфер человеческой деятельности. Наиболее

важнейшая и быстро развивающаяся из них – производство портативных компьютеров, средств связи, фото- и видеоаппаратуры, персональной робототехники, развитие и успешное функционирование которых во многом зависит от энергоёмкости источника питания.

В настоящее время наиболее перспективными считаются несколько типов портативных топливных элементов, различающихся по виду топлива и типу электролита. Это, в первую очередь, метанольные топливные элементы (DMFC), использующие в качестве топлива метиловый спирт и протонообменные мембраны в качестве электролита. Метанольные топливные элементы активно разрабатываются такими компаниями как Motorola, Samsung, Toshiba, Hitachi и др. Однако, метанол является легковоспламеняющимся топливом, что создаёт серьёзные проблемы безопасности, в частности, препятствует получению разрешения для провоза устройств с DMFC на борту самолётов.

Альтернативным метанолу топливом является водород. К преимуществам водорода как топлива следует отнести существенно меньшие поляризации электродов по сравнению с другими видами топлива, что приводит к более эффективному использованию топлива.

Другим видом топлива, который может успешно применяться в портативных топливных элементах (ПТЭ), являются металлы, прежде всего алюминий [16]. Большие мировые запасы алюминия, его дешевизна, высокие теоретические удельная энергия (8140Вт/ч·кг) и напряжение разомкнутой цепи электрохимической системы Al – воздух (2,7В) делают его очень привлекательным анодным материалом для химических источников тока. Воздушно-алюминиевые электрохимические системы в настоящее время интенсивно исследуются и разрабатываются. Имеющиеся готовые разработки воздушно-алюминиевых источников тока представляют собой сравнительно крупногабаритные мощные источники электроэнергии для питания подводных лодок (разработка компании Alupower Can. Ltd, Канада) и электромобилей (разработки МАИ, «АльтЭн», НПП «Квант», Россия), для замены дизельных генераторов, для использования в качестве автономного зарядного устройства для автомобильных аккумуляторов (источники тока серии ВАИТ, разработанные в МЭИ, Россия). По такому показателю, как удельная энергия, отдельные образцы перечисленных воздушно-

алюминиевых источников тока приближаются к литиевым батарейкам. Это указывает на перспективность их применения, как портативных источников питания, после решения ряда проблем, основной из которых представляется преодоление высоких поляризаций алюминиевого анода, связанных с побочными реакциями коррозии, пассивацией электродов и др.

Ситуация на внутреннем и внешнем рынках, имеющиеся аналоги

По оценкам экспертов "РоснаноТех" [17] к 2014 году примерно в 17% всех товаров, выпускаемых в мире, будет в той или иной степени содержаться нанопродукция. Лидеры этого специфического рынка сегодня - США, Япония, Германия, Южная Корея. Россия пока относится к числу стран, которые проявляют максимальную активность, и входит в пул, следующий сразу за лидерами: Австралия, Великобритания, Китай и Франция.

Углеродные нанотрубки

Ограничения в продвижении нанотрубок на рынок связаны с основной проблемой – высокой стоимостью нанотрубок. Стоимость нанотрубок различного типа по данным компании Nanocyl S.A. (Бельгия) [18] показана в Табл.2, по данным компании MicrotechNano (США) [19] – в Табл. 3.

Таблица 2. Стоимость нанотрубок различного типа от Nanocyl S.A. (Бельгия).

Тип нанотрубок	Внешний /внутренний диаметр, нм	Длина, мкм	Степень очистки, %	Стоимость, евро/грамм
Толстые МСНТ	4-10/8-50	до 50	20	90
			95	250
ОСНТ, изолированные и в пучке(bundled)	1-4	до 10	> 5	30
			>70	500
УНТ с двумя стенками	1.6-2.6/2.3-3.3	-	> 95	350
НТ с присоединенными радикалами.				К указанным выше ценам добавить 50 евро.

Таблица 3. Стоимость УН от MicrotechNano (США).

При поставке упаковок (в граммах)	Диаметр УН, нм/Стоимость в \$ за грамм					
	< 2 (Single-Wall)	10 (Multi-Wall)	10-30 (Multi-Wall)	20-40 (Multi-Wall)	40-60 (Multi-Wall)	60-100 (Multi-Wall)
1-10г	132	88	36	32	28	25

>10г	120	80	32	28	24	22
>50г	108	72	28	24	20	19
>100г	96	64	24	20	16	15
>250г	84	56	20	16	12	11
>500г	72	48	16	12	8	7
>1000г	60	40	12	8	4	3

Компании по производству нанотрубок создаются группами ученых, занятых исследованиями и имеющими интеллектуальную собственность в этой области, табл. 4.

Табл. 4 . Компании по производству нанотрубок.

фирма Nanocyl	Бельгия	Лабораторное производство УН
фирма Thomas Swan & Co Ltd.,	Великобритания	Производство УН по CVD технологии. Выпускает композитный материал ELICARB™ для покрытия корпусов автомобилей
фирма Shenzhen Nanotech Port Co.	Китай	Промышленная технология производства УН, нановолокон и нанографитовых кристаллов.
Mitsui and Co.	Япония	Разработка технологии и производство УН.
NanoCarbLab	Россия	Разработка технологий массового производства УН.
Инновационно-технологич. центр машиностроения	Россия, Тамбов	Промышленная технология производства УН по CVD технологии на катализаторах.
Eikos, Inc.	США	Разработка технологии покрытий на основе УН для дисплеев, солнечных батарей, оптических окон, для военных авиационных куполов парашютов.
First Nano, Inc.	США	Производство оборудования и аппаратуры для нанотехнологических исследований. Система EasyTube™ для синтеза УН по CVD технологии.
Hyperion Catalysis International	США	Производство УН FIBRIL™. Композиты полимер/нанотрубки на основе FIBRIL™ предназначены для автомобильной, электронной промышленности.
Molecular Nanosystems, Inc.	США	Разработка газовых, химических и биологических датчиков, кантилеверов для атомно-силовых микроскопов, электронных приборов. CVD технология осаждения УН.
компания Inanov	Франция	Разработка экранов дисплеев (NanoPage) с излучателем электронов на основе УН.

Нанополимеры

Во всем мире неуклонно растет объем применения полимерных нанокompозитных материалов, особенно в автомобилестроении, производстве упаковочных материалов и электронной технике [20]. В целом, прогнозируется среднегодовая скорость роста применения нанокompозитных материалов от 18 до

25% за год, с ожидаемым достижением объема применения около 255 млн. долл. к 2009 г.

Соединенные Штаты являются мировым лидером применения нанокompозитных материалов и исследований нанотехнологий, в работах участвует более 400 исследовательских центров и компаний, а объем финансирования в 2006 г. превышал 4,1 млрд. долл.

Ожидается, что среди материалов будут доминировать нанокompозиты, основанные на крупнотоннажных товарных пластиках: полипропилене, полиэтилене и поливинилхлориде.

Наиболее крупнотоннажными полимерными материалами на отечественном рынке являются: полиэтилен (объем выпуска в 2007 г.– 1252,6 тыс. тонн), поливинилхлорид и сополимеры винилхлорида (587 тыс. тонн), полипропилен (490,5 тыс. тонн), полистирол и сополимеры стирола (280 тыс. тонн) [21]. Доля рынка пластмасс, занимаемая перечисленной «большой четверкой», в настоящее время достигла величины 60%. Общее увеличение объемов потребления полимеров в РФ с 2000г. ежегодно возрастало в среднем на 10% [22]. Среднегодовые темпы прироста спроса в мире до 2010 г. представлены в табл. 5 [23].

Табл. 5. Среднегодовые темпы прироста спроса на основные виды термопластов.

		сектор потребления	прирост спроса
1	полипропилен	автомобилестроение, текстиль, упаковка	6,9%. до 2010 г
2	ПВХ	производство строительных материалов	4,35% до 2010 г
3	ПЭВП ПЭНП и ЛПЭНП	упаковка производители пленки	до 2010 г. 4,4% и 6,7%
4	Полистирол	упаковка в производстве мебели, бытовых товаров, электроники и т.д.	за 2001-2006 гг. 0,9%.

Полимерные материалы и композиты с добавлением УН как технические пластмассы имеют разнообразные области применения:

а) железнодорожный транспорт (изготовление наиболее важных деталей грузовых тележек вагонов: втулка тормозной рычажной передачи и износостойкая планка фрикционного клина; крышка буксы железнодорожных вагонов, накладки

тормозных колодок, прокладки, сухари; вкладыши и упорные шайбы, установленные на поворотной оси; опоры скольжения для транспортировки рельс; скользящие подкладки (башмаки) и фиксирующие блоки, используемые и при транспортировке сломанных локомотивов; подрельсовые электроизолирующие прокладки повышенной износостойкости для шпал, имеющие ресурс в семь-десять раз больше резиновых, замена в полтора раза дешевле и экономичнее, срок гарантии – более 10 лет; облицовка и футеровка внутренней поверхности контейнеров-цистерн, вагон-цистерн, хоппер-дозаторов, полувагонов для сыпучих грузов и многое др.);

б) приборостроение, различные области машиностроения (элементы конструкций, подверженные истиранию, например, ходовые катки, зубчатые колёса, направляющие цепей, опорные втулки, натяжные цепи, изделия для эскалаторной службы метрополитена и др.);

в) химическая и пищевая промышленность (фильтры, лопастные насосы, краны, вентили, антикоррозионное покрытие металлических емкостей и деталей для работы в агрессивных средах), сепараторы для автомобильных аккумуляторов, морозостойкие композиционные материалы для уплотнительных изделий;

г) металлургия, горнорудная промышленность и углеобогащение (направляющие и облицовка для транспортных бункеров, желобов, скатов, различных механизмов, кузовов карьерных самосвалов и т.п.);

д) нефтегазодобывающая промышленность, теплоэнергетика, водоснабжение и гидроэнергетика, трубопроводный транспорт (оборудование, работающее в особо агрессивных средах при повышенных и низких температурах; металлополимерные трубы для систем водоснабжения, антикоррозионная защита труб, соединительные трубные детали и специальное оборудование);

е) спортивный инвентарь (теннисные ракетки, сноуборды, горные лыжи) и защитное обмундирование (бронезилеты, строительные каски, мотоциклетные шлемы, эргономические пулестойкие шлемы), эндопротезы.

Упаковочная отрасль и детали для автомобилей - два ключевых рынка для нанокompозитов, они будут составлять почти половину спроса на эти материалы в 2011 году [24]. Строительство также появится как существенный рынок, поскольку

нанокомпозиты уже начинают заменять армированные различными волокнами пластмассы для решения многих задач.

Портативные топливные элементы (ПТЭ)

Выбранный сегмент рынка для ПТЭ, разработанного в ИТ СО РАН, - источник питания для ноутбуков.

Рост мирового рынка ноутбуков составляет 20% ежегодно [25]. Самый быстрорастущий сегмент рынка – Россия - ежегодно увеличивается на 40-50% [26]. В 2007 г. темп его роста превысил показатели 2006 г. (55%), составив 64,5%. В России в 2007 г. объем продаж ноутбуков составил более 3 млн. штук. При стоимости источника питания 100 долларов США рынок источников питания для ноутбуков в России составляет не менее 300 млн. долл. США.

Целевая группа потребителей ПТЭ – производители ноутбуков.

Аналоги продукции – ПТЭ компании [Hitachi Maxell](#), в котором также использует алюминий в качестве топлива. Имеющиеся готовые разработки воздушно-алюминиевых источников тока представляют собой крупногабаритные мощные источники электроэнергии для питания подводных лодок (разработка компании Alupower Can. Ltd, Канада) и электромобилей (разработки МАИ, «АльтЭн», НПП «Квант», Россия), для замены дизельных генераторов, для использования в качестве автономного зарядного устройства для автомобильных аккумуляторов (источники тока серии ВАИТ, разработанные в МЭИ, Россия). По такому показателю, как удельная энергия, отдельные образцы перечисленных воздушно-алюминиевых источников тока приближаются к литиевым батарейкам. Это указывает на перспективность их применения, как портативных источников питания, после решения ряда проблем, основной из которых представляется преодоление высоких поляризаций алюминиевого анода, связанных с побочными реакциями коррозии, пассивацией электродов и др.

Выбор в пользу алюминия в данном проекте сделан из-за невысокой стоимости металла и лёгкости утилизации отходов.

Патентные исследования как часть маркетинга

Ряд факторов, важных для оценки конкурентоспособности разработок и перспективности организации их производства можно получить из патентной информации. В силу опережающей публикации, свойственной патентной информации, появляется возможность предвидеть тенденции развития рынка продукции аналогичного значения.

В данном случае для выявления тенденции развития объекта исследования – способа получения УН, сделана предварительная оценка динамики патентования в исследуемой области техники по отобранным для анализа патентным документам аналогов объекта исследования, Рис.2. Патентные документы отбирались в российской и зарубежной базах. Резкий рост количества патентов и заявок, начиная с 2000 года, свидетельствует о перспективности развития рынка производства УН, а, следовательно, и вариантов их применения.

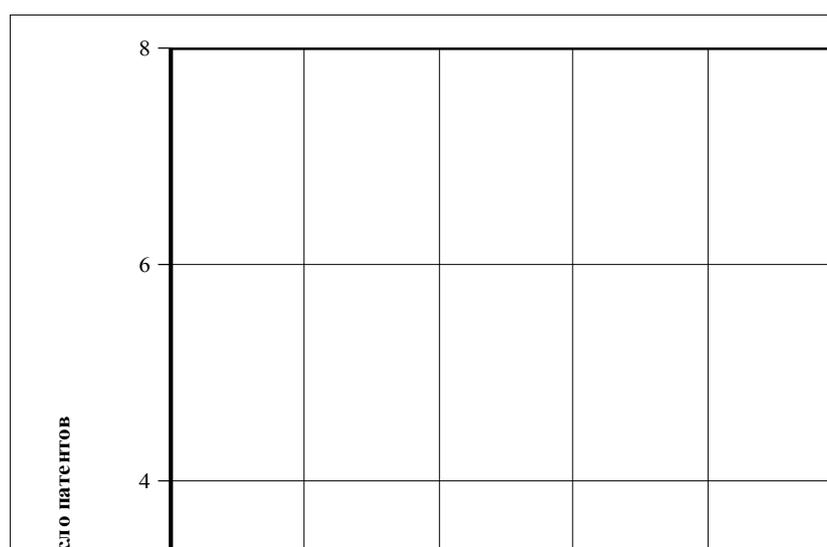


Рис. 2. Динамика подачи патентов РФ на изобретения по способам получения углеродных наноструктур.

Выводы

На основе проведенного исследования можно сказать о перспективности развития рынка углеродных нанотрубок, наноматериалов на их основе и ПТЭ как источника питания.

На рынке существует потребность в технологии получения УН в промышленных масштабах с низкой себестоимостью, высоким качеством и высоким выходом продукта. Технология получения УН, разработанная в ИТ СО РАН, полностью отвечает потребностям рынка. На рынке также существует

потребность в высокопрочных материалах, обладающих уникальными физико-механическими свойствами, такими как повышенная жесткость, высокая ударная прочность и высокая износостойкость; низкий коэффициент трения, сравнимый с коэффициентом трения для фторопластов; высокая коррозионная стойкостью; высокая морозо- и теплостойкость в диапазоне от -60 до +900 °С, хорошая звукоизоляция. Что касается ТЭ, то образец, разработанный в ИТ СО РАН, обладает рядом конкурентных преимуществ: выходная мощность – от 5 до 50 Вт, удельная энергия – не менее 300 Вт-час/кг; коэффициент использования топлива – 70-80%; массогабаритные характеристики – от 70 г до 200 г в объеме до 200 см³, срок службы – не менее 5 лет.

Выявленные требования потребителей к качествам УН, полимерным материалам и композитам с добавлением УН и ПТЭ, необходимых на рынке, в основном соответствуют качествам предлагаемых к разработке и коммерциализации продуктам.

Литература

1. Интернет-портал Правительства РФ.
<http://www.government.ru/government/governmentactivity/rfgovernmentssession/2008/zp17012008/m17012008/4966853.htm>.
2. Сайт консалтинговой компании Cientifica (Англия)
http://www.cientifica.com/html/docs/Nanotubes%202004_ExSum.pdf.
3. Беликов А.Е., Мальцев В.А., Нерушев О.А., Новопашин С.А., Сахапов С.З., Смовж Д.В. Конверсия метана в углеродные нанотрубы и водород. Материалы докладов 13 Всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: экология, надежность, безопасность». Томск, 2007, с. 238-240.
4. Сайт Министерства экономического развития и торговли Российской Федерации, Федеральные целевые программы: <http://fcp.vpk.ru/cgi-bin/cis/fcp.cgi/Fcp/Title/1/2008>.
5. Сайт Министерства образования и науки Российской Федерации, Федеральное агентство по науке и инновациям: <http://www.fasi.gov.ru/fcp/nano/>.
6. А. Фурсенко О научном и организационном обеспечении развития nanoиндустрии в Российской Федерации. Интеллектуальная собственность, № 4, 2008, стр. 38-49.
7. Л. В. Радужкевич и В. М. Лукьянович. О структуре углерода, образующегося при термическом разложении окиси углерода на железном контакте. ЖФХ 1952, т. 26, 88-95.
8. G. Overney, W. Zhong, and D. Tomanek. Structural rigidity and low frequency vibrational modes of long carbon tubeles. Zeitschrift fuer Physik D: Atoms, Molecules and Clusters, 27(1):93-6, 1993.

9. M. M. J. Treacy, T. W. Ebbesen, and J. M. Gibson. Exceptionally high young's modulus observed for individual carbon nanotubes. *Nature (London)*, 381(6584):687-680, 1996/
10. Раков Э.Г. Нанотрубки и фуллерены. Издательство: Логос. 2006, 376с.
11. Y. Ando, X. Zhao and H. Shimoyama. Structure analysis of purified multiwalled carbon nanotubes. *Carbon*, V. 39, Issue 4, 2001, pp. 569-574.
12. Thess A., et.al. Crystalline Ropes of Metallic Carbon Nanotubes, *Science (1996)* 273, No. 5274, pp. 483 – 487.
13. Endo Morinobu, Hayashi Takuya, Kim Yoong Ahm, Muramatsu Hiroyuki. Development and application of carbon nanotubes/: *Jap. J. Appl. Phys. Pt 1.* 2006. 45, N 6A, с. 4883-4892, 17.
14. Alexandrou I., Kymakis E., Amaratunga G. A. J. Polymer-nanotube composites: Burying nanotubes improves their field emission properties . *Appl. Phys. Lett.*, 2002, 80, pp.1435-1437.
15. Long Xie, Feng Xu, Feng Qiu, Hongbin Lu, and Yuliang Yang. Single-Walled Carbon Nanotubes Functionalized with High Bonding Density of Polymer Layers and Enhanced Mechanical Properties of Composites. *Macromolecules*; 2007; 40(9) pp. 3296 – 3305.
16. Шейндлин А.Е., Жук А.З., Клейменов Б.В., Школьников Е.Н., Лопатин М.Ю. О возможности использования алюминия в энергетических установках. *Известия РАН*, 2006, с. 3-11.
17. Сайт Государственной корпорации «Российская корпорация нанотехнологий» (ГК «Роснано») <http://www.rusnano.com>.
18. Сайт компании «Nanocyl» (Бельгия) www.nanocyl.com.
19. Сайт компании Microtechnano, LLC, (США) www.microtechnano.com.
20. Сайт Polymeru.ru.
21. Сайт www.plastinfo.ru.
22. В. Рязанов. Полумеры не для полимеров. «Эксперт» №19 (513)/22 мая 2006
23. Сайт компании CMAI (Chemical Market Associates, Inc.(CMAI) <http://www.cmaiglobal.com/>.
24. Сайт Пластэксперта www.e-plastic.ru.
25. Сайт компании Market Intelligence Center (MIC), (Тайвань) <http://mic.iii.org.tw/english/>.
26. А.Грамматчиков. Мобильное реагирование. *Эксперт*, №18, 2006, с. 183.

© Перепечко Л.Н., Шарина И.А.