

Нанотехнологии — каковы ожидания разработчиков кабелей?

Алексей КУЛИКОВ
Юрий СВETИКОВ

Продукция кабельной промышленности — одна из наиболее востребованных продуктов и в настоящее время, и в будущем. Номенклатура кабелей и проводов на мировом рынке огромна и соответствует требованиям разнообразных сфер применения. При этом нет оснований ожидать создания новой продукции, радикально отличающейся по своим характеристикам от производимой сейчас на базе традиционных технологий изготовления материалов, кабелей и проводов. Успехи в развитии новейшей области знаний, называемой весьма емким словом нанотехнологии, в принципе, могут привести к изменению этой ситуации.

В настоящей статье формулируются задачи, решение которых на основе применения нанотехнологий имеет большое значение для кабельной промышленности.

Данная работа, прежде всего, адресована специалистам в области нанотехнологий с целью привлечь их внимание к практическим задачам одной из наиболее важных отраслей промышленности.

Введение

История производства кабелей началась немногим более 100 лет назад, а в настоящее время в мире кабельную продукцию производят более 2000 компаний, что является причиной жесткой конкуренции на кабельном рынке. Требования к кабелям, определяемые условиями эксплуатации и реальными особенностями их практического использования, постоянно ужесточаются, и разработчикам новых видов кабельной продукции пока удается справляться с этим. Но радикальных новшеств, за небольшими исключениями, не наблюдается. Нет оснований ожидать радикальных новаций в конструктивных реализациях новой кабельной продукции. Это утверждение подтверждается существом патентуемых в этой области решений, которые в подавляющем большинстве относятся к использованию новых материалов, обеспечивающих соответствие широкому спектру требований, как технических и эксплуатационных, так и национальных и международных стандартов. К радикальным изменениям в конструктивной реализации кабелей можно отнести кабели на основе высокотемпературной сверхпроводимости (здесь следует отметить, что до рентабельного производства таких кабелей дело пока не дошло, да и сфера их применения ограничена областью высокоэнергетической). Безусловной новацией являются оптические

кабели, в которых в качестве среды передачи используется не металл, а кварцевое волокно. Но этой «новации» уже более 30 лет.

Целью производителей кабельной продукции является получение прибыли, которую обеспечивает успешная деятельность на рынке, что связано с удовлетворением запросов и ожиданий пользователей кабельной продукции, как в техническом и эксплуатационном аспектах, так и в отношении такого важного показателя, как соотношение цена/качество. Это означает, что стандартная кабельная продукция должна иметь минимальную себестоимость, а новая продукция должна опережать ожидания потребителей. И, если это опережение значительное, то ее применение может быть рентабельным для потребителя и при высокой стоимости. Особенно при уникальности новой продукции, которая обеспечивает ее максимальную конкурентоспособность на рынке.

По уровню современной кабельной продукции и известному на настоящее время состоянию новых разработок, при использовании традиционных технологий и материалов появление радикальных новаций маловероятно. Сохранение такого положения дел означало бы крайне низкие темпы совершенствования кабельной продукции, что, безусловно, противоречит интересам как ее производителей, так и потребителей.

Надежду на изменение этой ситуации разработчики и производители кабелей и прово-

дов сейчас видят в развитии нанотехнологий применительно к нуждам их производства. Такие ожидания подкрепляются мировым масштабом интенсивных исследований и многочисленными практическими достижениями в этой области.

Следует отметить, что, несмотря на большой масштаб работ во всем мире по развитию нанотехнологических принципов, до сих пор нет единого общепризнанного определения понятия «нанотехнология». Предлагаются разнообразные варианты, не отличающиеся по сути, но имеющие различные формулировки.

Достаточно общее определение дано в работе [1]: «Нанотехнологией называется междисциплинарная область науки, в которой изучаются закономерности физико-химических процессов в пространственных областях нанометровых размеров с целью управления отдельными атомами, молекулами, молекулярными системами при создании новых молекул, наноструктур, наноустройств и материалов со специальными физическими, химическими и биологическими свойствами».

Более кратко это формулируется в [2] следующим образом: «Нанотехнология — наука о построении молекулярных устройств из одиночных атомов».

При принятии решения об использовании нанотехнологий в практических целях возникает ряд вопросов, например:

- Насколько реальна возможность применения методов и средств нанотехнологий для создания новых видов кабельной продукции, которая была бы востребована на рынке?
- Возможно ли достижение приемлемого уровня рентабельности производства такой продукции?
- Каковы сроки и стоимость получения практических результатов?

Ответы на эти и другие важные для разработчиков кабельной продукции вопросы можно получить только при поисках решений совместными усилиями специалистов в области создания кабельной продукции и специалистами в области нанотехнологий. В этом диалоге предполагается постановка проблем с одной стороны, рассмотрение принципиальных возможностей их решения с другой стороны и совместные усилия по поискам экономически рентабельных практических решений. Важна и оценка возможности решения актуальных задач во времени.

Исходной посылкой в упомянутой связи является рассмотрение задач, стоящих перед разработчиками новой кабельной продукции и их оценка специалистами в области нанотехнологий с точки зрения возможности, сроков и стоимости решения этих задач.

Применительно к такому подходу рассмотрим особенности кабельной продукции, которые важны для постановки задач перед специалистами в области нанотехнологий.

Однако для начала приведем образующее определение из стандарта СТО 17330282.27.010.001 – 2008: «Кабели изолированные — совокупность элементов, состоящих из одной или нескольких изолированных жил, их индивидуальных экранов, поясной изоляции, экрана, оболочки, защитных покровов».

Постановка задачи

Ответы на сформулированные выше вопросы рационально искать на базе требований, предъявляемых к кабельно-проводниковой продукции ее потребителями, с последующим поиском и анализом возможных путей создания изделий, соответствующих этим требованиям.

Рассмотрим наиболее существенные, в рассматриваемом аспекте, характеристики кабельной продукции.

Функции, выполняемые кабелями

К этим функциям относятся:

- Передача электрических сигналов.
- Передача оптических информационных потоков.
- Передача электрической энергии.
- Совместная, с первыми тремя, функция транспортировки движущихся объектов: например, кабели для транспортировки объектов водного базирования, кабели для связи аэростатов с наземным пунктом и для их позиционирования и т. п., а также осуществление нагрева окружающей среды по длине кабеля.

Конструктивные элементы и материалы, из которых они изготавливаются

Проводящие элементы используются для:

- передачи электрических сигналов,
- передачи электрической энергии,
- транспортировки оптических информационных сигналов и оптической энергии,
- а также для осуществления, совместно с вышеперечисленными функциями, функции транспортировки, например, объектов водного базирования (буи, подводные антенные решетки и т. п.) или объектов воздушного базирования (аэростаты — связь с наземным пунктом и позиционирование и т. п.).

Изоляция используется для изоляции отдельных токоведущих элементов и групп таких элементов.

Металлический экран — оплетка или повив для предотвращения излучения из кабеля во внешнюю среду (ЭМС) или для защиты от внешних наводок (ЭМП).

Элементы механической защиты: металлическая броня — сплошная, ленточная, гофр, повив, оплетка.

Защитная оболочка — для обеспечения выполнения требований на допустимую продольную и поперечную механическую нагрузку, для защиты от воздействий окружающей среды и др.

Элементы, обеспечивающие выполнение требований на допустимую продольную нагрузку.

Элементы, обеспечивающие защиту от проникновения влаги и от распространения огня при возгорании кабеля.

Мы перечислили основные составляющие конструкций современных кабелей. Именно они, объединенные в конструкции, в совокупности должны обеспечить выполнение в конкретном типе кабеля всего комплекса предъявляемых к нему технических требований, гарантирующих реализацию основных функций кабеля, то есть транспортировки электрических сигналов/электроэнергии (переменного и постоянного тока) или оптического сигнала в заданных условиях эксплуатации.

Требования к кабелям

В состав требований, предъявляемых к кабелям (со стороны потребителей), относятся, прежде всего:

- Допустимые потери при передаче.
- Рабочая полоса частот (это относится к кабелям, предназначенным для передачи информационных сигналов).
- Масса.
- Поперечные габариты (кабель может быть некруглым в сечении).
- Допустимые механические нагрузки — продольные/поперечные.
- Срок службы.
- Допустимая температура окружающей среды.
- Огнестойкость и пожаробезопасность, малое дымовыделение.

- Малое выделение опасных для здоровья и коррозионноактивных веществ в случае возгорания кабеля.
- Время работоспособности кабеля в случае его возгорания.
- Стойкость к внешним воздействиям: вода, нефтепродукты, химически активные вещества, радиация, ЭМИ др.

В конкретных условиях эксплуатации акцент может смещаться на те или иные позиции, например, допустимое число перемоток кабеля, гибкость, скользящая способность и др.

Производитель кабельной продукции, со своей стороны, требует от разработчика кабелей, чтобы при их проектировании принимались решения, учитывающие особенности технологического оборудования и процесса изготовления кабелей, обеспечивающие минимальные затраты на изготовление продукции, в том числе — минимальный расход всех материалов, минимальный объем технологических отходов, минимальные энергозатраты в процессе производства, минимум брака, минимальные затраты на выполнение экологических требований к производству, на вторичную переработку кабельных изделий, на реализацию необходимых мер по технике безопасности и др.

Естественным требованием производителя к разработчику является минимум издержек на производство продукции.

Этот неполный перечень требований к кабелям и их производству дает представление о характере и масштабах проблем, которые должны решать разработчики и производители кабельной продукции, используя доступные на момент проектирования материалы, известные технологические процессы и соответствующее технологическое оборудование.

Как было отмечено, принимая во внимание уровень патентуемых решений при создании кабельной продукции, маловероятно появление радикальных новинок в конструктивном исполнении кабелей. При этом требования к кабелям, как на национальном, так и на международном уровне, постоянно ужесточаются. И эти требования разработчики кабелей реализуют, используя традиционные и новые, перспективные материалы, а также некоторые технологические решения, которые оказываются возможными именно благодаря применению перспективных материалов.

Вкратце остановимся на используемых в настоящее время материалах для изготовления кабелей.

Материалы для кабельной промышленности

Токопроводящие элементы

Токопроводящие элементы изготавливаются из металлов, проводящих ток, таких как медь, алюминий, сталь, разные сплавы.

Наиболее часто применяется медь: из нее изготавливаются одиночные проводники, или из этих проводников скручиваются многопроволочные жилы. Такие жилы называют токопроводящими, и они составляют основу

кабелей, предназначенных для передачи электрических сигналов и электроэнергии. Медь обладает высокой электропроводимостью, хорошей гибкостью, неплохо переносит многочисленные перемотки. У нее есть как минимум два существенных недостатка — небольшая прочность на разрыв и постоянно растущая цена, что сказывается и на стоимости конечной продукции. К тому же мировые запасы меди истощаются.

Недостаточная прочность на разрыв вынуждает закладывать в конструкцию кабелей, если этого требуют условия эксплуатации, упрочняющие элементы — стальные или синтетические, что увеличивает массо-габаритные показатели, усложняет технологическую цепочку изготовления кабелей и их стоимость.

В ряде применений, где особенно жесткие эксплуатационные требования, например, фазные провода или грозотросы воздушных линий передачи, используется стальная скрученная проволока. Здесь вынуждены применять сталь, ибо по прочности ей нет альтернативы. Однако потери в стальных проводах (просто на нагрев и излучение) гораздо выше, чем в медных.

Применение в силовых цепях алюминиевых многопроволочных проводов позволяет как-то облегчить проблему большого веса проводов, но прочность на разрыв и поперечная прочность алюминиевых проводов существенно уступает прочности стальных аналогов. Кроме того, алюминий плохо работает на разрыв.

В менее жестких условиях эксплуатации сплавы, содержащие алюминий, успешно применяются для таких видов кабельной продукции, как СИП.

Другие материалы используются, как правило, в маломасштабных специальных применениях, например, пластиковое волокно с металлическим покрытием.

К безусловным достоинствам металлических проводников относится их негорючесть.

Материалы для оптических кабелей

Оптические кабели широко используются как в межконтинентальных телекоммуникационных линиях, так и в линиях с небольшой протяженностью, например, для обмена данными между чипами вычислительных комплексов.

Проводящим элементом в оптических кабелях является оптическое волокно — кварцевое или полимерное. Кварцевое оптическое волокно обладает малыми потерями, практически приближающимися по величине к теоретическому пределу. Кроме того, оно обладает гигантской широкополосностью, позволяющей осуществлять по одному волокну с внешним диаметром 125 мкм при диаметре сердечника около 10 мкм, а во вторичной оболочке — около 250 мкм, организацию сотен тысяч телефонных каналов и передавать любую информацию, если она представлена в цифровом виде.

Оптические кабели, как правило, имеют небольшой диаметр, поскольку сами опти-

ческие волокна и оптические модули, содержащие это волокно, имеют малый диаметр, но прочность оптического волокна на разрыв невелика (это притом, что прочность оптического волокна с идеальной поверхностью и проволоки из нержавеющей проволоки одинакова). По этой причине в конструкцию оптического кабеля закладывают различного рода упрочняющие элементы.

Достаточно широкое применение находят комбинированные кабели, содержащие оптическое волокно для организации оптических трактов передачи и токопроводящие жилы для передачи электрических сигналов и дистанционной подачи электропитания.

Важной особенностью оптических кабелей, особенно в специальных применениях, является их невосприимчивость к внешним электромагнитным воздействиям и отсутствие собственного излучения за пределами самого оптического волокна, что исключает необходимость в защитных металлических экранах.

К недостаткам оптических кабелей относится их достаточно высокая стоимость, обусловленная сложностью технологического процесса изготовления оптического волокна, из-за чего волокно, отвечающее требованиям международных стандартов, в мире производят лишь несколько компаний, у которых производители кабелей вынуждены его покупать.

Второе десятилетие исследователи пытаются создать полимерное оптическое волокно в качестве альтернативы кварцевому, но, несмотря на широкие масштабы работ, уровень погонных потерь в таких волокнах позволяет передавать сигналы на ограниченные расстояния. По этой причине, однако, растущими темпами, расширяется применение пластиковых волокон и кабелей на их основе в линиях малой протяженности — в автомобилях, поездах, самолетах и т.п. Это очень быстро растущий сегмент кабельного рынка.

К недостаткам пластиковых волокон, в сравнении с кварцевыми волокнами, кроме больших потерь, относятся меньший верхний предел рабочей температуры и меньшая прочность на разрыв.

Другие материалы

Остальные элементы конструкции кабелей и материалы, из которых они изготавливаются, выполняют вторичные функции: обеспечивают работоспособность кабелей в определенных условиях эксплуатации.

Изоляция выполняется из разнообразных непроводящих материалов, таких как полиэтилен, сшитый полиэтилен, фторопласт, полихлорвинил, натуральный каучук и синтетическая резина, слюда и другие хорошо известные материалы. Их задача, совместно с материалами внешних оболочек, — обеспечить требования к кабелям по устойчивости к внешним воздействиям, нормы на пожаростойкость, дымовыделение при горении, выделение токсичных и коррозионно-актив-

ных газов и веществ. Изоляционные и защитные оболочки также обеспечивают свой вклад в механическую защиту проводящих элементов. Они не должны содержать вредных веществ, например, как это требует директива RoHS Евросоюза, нормы которой находят признание и за пределами Европы [3].

Изоляционные материалы совместно с упрочняющими, герметизирующими и усиленными элементами позволяют создавать кабели, отвечающие современным требованиям. Однако, несмотря на интенсивные исследования, согласно которым материалы, используемые при производстве кабелей, постепенно совершенствуются, не наблюдается каких-либо результатов, радикально улучшающих характеристики кабелей и обеспечивающих заметную конкурентоспособность этой продукции. Отчасти это объясняется и тем, что в стоимость новой продукции включается и стоимость разработок новых материалов. При этом не изменяется и соотношение цена/качество для новой кабельной продукции.

Таким образом, можно отметить, что постепенно замедляется скорость повышения уровня новых разработок кабелей во всем мире. И пока не видно никаких реальных путей изменения этой тенденции без радикального отхода от традиционно используемых в производстве кабелей материалов и технологий.

Надежду на изменение ситуации многие представители кабельной промышленности связывают с развитием нанотехнологий. Эта отрасль знаний в настоящее время рассматривается как одно из важнейших направлений научно-технического прогресса. Именно с помощью нанотехнологий, как это показано теоретически и подтверждено практически, возможно создание материалов с совершенно новыми свойствами или с заданными свойствами.

Первой публикацией, в которой рассматривались возможности использования для изготовления кабелей материалов на основе нанотехнологий, можно считать статью Х. Чизмика «Нанотехнологии для оптимизации и конструирования специальных кабелей» [4], см. также [5].

Производство кабелей

К технологическим операциям процесса производства кабелей, в основном, относятся следующие:

- изготовление проволоки (волочение);
- нанесение металлических покрытий и слоев изоляции и защиты на проволоку;
- скрутка проволок в жилы, скрутка жил в сердечник кабеля;
- нанесение разнообразных изолирующих, разделительных, защитных оболочек;
- введение водоблокирующих и упрочняющих элементов;
- экранирование, изготовление защитных металлических и полимерных оболочек и т.д.

Во всех этих процессах используются покупные исходные материалы, требования к которым были рассмотрены выше.

Требования к технологическому оборудованию носят стандартный характер. Упомянем наиболее важные:

- высокая производительность, энергосбережение;
- большой срок службы;
- безопасность для производственного персонала;
- выполнение санитарных норм и экологических требований;
- минимум производственных отходов;
- исключение брака и т. п.

Соответственно, новые материалы для производства кабелей должны иметь свойства, которые позволяют реализовать эти требования, детали и узлы технологического оборудования иметь минимальный износ, а само оборудование должно быть высокопроизводительным и энергосберегающим.

Публикаций о комплексном подходе к использованию нанотехнологий в процессе производства кабелей и проводов в литературе выявить не удалось. К частным примерам применения нанотехнологий в процессе производства проволоки относится сообщение компании Sanxin Wire Die Co (США) [6] об изготовлении волочильных фильер с алмазным покрытием только на рабочей поверхности волоки из карбида вольфрама с нанокристаллическим композитным слоем из исключительно мелкозернистого поликристаллического алмаза (PCD) на рабочем профиле. Новые фильеры называются Nano-PCD и предназначены для операций скрутки и уплотнения. Стоимость таких волок лишь ненамного превысит стоимость простых волок из карбида вольфрама.

Выпускаются фильеры Nano-PCD с диаметром от 3 до 60 мм. По сравнению с фильерами из карбида вольфрама они способны обрабатывать в 10–15 раз больше продукции (по массе).

Вышеизложенное дает представление о том, радикальное решение каких практических задач имеет важное значение для создания новой кабельной продукции, обладающей реальными конкурентоспособными особенностями (при приемлемом соотношении цена/качество). Проблема, стоящая перед профессионалами, занимающимися поисками практических решений реальных задач с помощью нанотехнологий, состоит, прежде всего, в поисках ответов на вопросы: можно ли и как решить задачи создания перспективных новых материалов именно для разработки кабельной продукции в ее традиционном конструктивном исполнении и для создания новых конструкций кабелей?

Задачи, в решении которых заинтересованы разработчики и производители кабелей

К таким задачам относятся:

- Улучшение функциональных свойств проводов и кабелей — улучшение транспортирующих свойств проводящих элементов.

- Обеспечение требуемого диапазона рабочей полосы частот, увеличение срока службы.
- Снижение массо-габаритных показателей при условии обеспечения выполнения требований к механической и электрической прочности.
- Обеспечение выполнения общих эксплуатационных и экологических требований и требований, связанных с конкретными применениями. К ним относятся: рабочий диапазон температур, характеристики окружающей среды и возможных внешних воздействий, включая ЭМС и ЭМП, радиацию, влагу, активные химические вещества, нефтехимические продукты, увеличенный срок работоспособности при эксплуатации проводов и кабелей в условиях пожара и других форс-мажорных обстоятельств, снижение вероятности возгорания, уменьшение интенсивности горения при возгорании кабелей, понижение горючести, обеспечение норм на выделение дыма, токсичных и коррозионно-активных веществ при возгорании кабеля.
- Придание кабелям «интеллектуальных» способностей — возможности самодиагностики технического состояния кабелей, мониторинга характеристик и рабочих параметров, возможности самовосстановления при повреждениях и предаварийных состояниях и т. д.
- Отсутствие в кабельно-проводниковой продукции запрещенных химических веществ, возможность осуществлять вторичную переработку кабельной продукции и отслуживших кабелей и проводов в соответствии с требованиями по защите окружающей среды и здоровья людей.
- Технологические процессы изготовления новой продукции также должны соответствовать требованиям по технике безопасности, защите окружающей среды и здоровья людей (требования, аналогичные требованиям директивы RoHS Евросоюза), относиться к разряду энергосберегающих. Заметим, что приведенный перечень задач не является исчерпывающим.

В настоящее время, на начальном этапе поисков возможностей использования нанотехнологий для решения вышеперечисленных задач, основные надежды, естественно, возлагаются на создание материалов, которые позволили бы разрабатывать и производить кабели, существенно отличающиеся от производимых в настоящее время по совокупности параметров и характеристик или обладающих уникальными свойствами, гарантирующими пользователям кабелей обеспечение им конкурентоспособности в их сегменте бизнеса.

Будущее покажет, возможно ли создание кабелей, которые будут конструктивно и по своим характеристикам существенно превосходить современную продукцию. А именно к этому стремятся производители кабелей,

при условии сохранения экономически приемлемого соотношения цена/качество.

Обоснованность ожиданий разработчиков кабельной продукции

Вышеизложенные ожидания основаны не только на заявлениях о перспективности развития и практического использования нанотехнологий, но и на информации о гигантских масштабах работ в развитых странах в этом направлении, о важных практических достижениях, которые имеют прямое отношение к интересам производителей кабельной продукции.

Основанием для заинтересованности разработчиков кабелей в нанотехнологиях является то, что многие материалы проявляют новые свойства (металлы, полимеры и др.) при воздействии на них на нанометровом уровне (менее 100 нм). Это означает, что нанотехнологии, в принципе, дают возможность управлять важными, в том числе и для кабельщиков, свойствами материалов, такими как электропроводность, теплоемкость, модуль Юнга, поверхностная свободная энергия, механическая прочность и т. д.

В работах [4, 5, 7] перечисляются потенциальные и уже используемые возможности применения нанотехнологий в кабельной отрасли: углеродные нанотрубки и наноглины в качестве наполнителей для огнестойких кабелей, металлические порошки в электропроводящих и экранирующих слоях, сверхпроводимость и нанокерамика.

Есть основания говорить о возможности создания в будущем «интеллектуальных» кабелей, которые, кроме выполнения своих обычных функций, смогут играть роль сенсоров, генераторов сигналов, отражающих изменение параметров окружающей среды, состояния самих кабелей, то есть предупреждать о надвигающейся аварии, КЗ, приближении к концу срока службы и т. д.

Насколько все эти футурологические оценки смогут быть подтверждены, а возможно, и будут превзойдены, может быть проверено только интенсивной совместной работой представителей науки и кабельной промышленности.

Безусловно, в определенной части прогнозы, подобные вышеприведенным, имеют под собой реальную основу, не только в виде некоторых теоретических и умозрительных заключений, но и в виде конкретных, практически полученных результатов.

Практические нанотехнологические разработки в направлениях, представляющих интерес для кабельной промышленности

Приведем краткий обзор публикаций, касающихся применения нанотехнологий и некоторых результатов, полученных на основе

использования их возможностей и представляющих интерес в рассматриваемом в данной работе плане.

Токопроводящие материалы — основа электрических кабелей

Большое будущее, как ожидается, будет иметь применение углеродных нанотрубок, которые могут быть использованы для изготовления токопроводящих жил (ТПЖ). Если такие жилы изготавливаются из чистых углеродных нанотрубок (так называемые квантовые провода), то они могут проводить в 10 раз больший ток, чем медь, при весе всего в одну шестую часть от медного провода. В США прототип квантового провода длиной в 1 м должен быть разработан для NASA в 2010 г. в лаборатории углеводородной технологии университета Райса [8].

Наноматериалы в перспективе могут быть с успехом использованы в производстве электрических кабелей на основе высокотемпературной сверхпроводимости для повышения их эффективности и безопасности, уменьшения диаметра. При этом отпадает необходимость передачи электроэнергии на высоких и сверхвысоких уровнях напряжения.

Ожидается, что ТПЖ кабелей, изготовленные из кристаллического графита, будут иметь при комнатной температуре электропроводность на два порядка выше, чем ТПЖ из меди [6].

Особо следует отметить работы по созданию сверхвысокопрочных наноструктурных материалов, проводимые во ВНИИ Неорганических материалов им. А. А. Бочвара [9]. Авторы этой статьи отмечают, что созданный ими новый класс наноструктурных электротехнических материалов имеет уникальные прочностные и электропроводящие свойства. Особое значение имеет то, что эти материалы уже производятся, и изделия из них имеют практическое применение.

В последнее десятилетие были созданы экономически эффективные методы получения стабильных наноструктурированных сталей с уникально высоким уровнем комплекса эксплуатационных свойств (что, в принципе, чрезвычайно важно для производства фазных проводов и грозотросов для воздушных линий электропередачи). Аналогичная ситуация имеет место и с созданием новых наноструктурных материалов на базе тугоплавких, цветных и редких металлов.

Большой практический интерес представляют микрокомпозитные нанопровода, изготавливаемые на основе сплава меди с ниобием. Прочность таких проводов на разрыв достигает рекордного значения (2200 МПа) и превышает прочность медного провода в пять раз. Разработанная в институте технология позволяет получать оптимальные наноструктуры в проводах практически любого сечения — вплоть до 100 мм². Разработанные технические обмоточные провода при высокой прочности имеют очень высокое значение относитель-

ного удлинения, которое даже при температуре жидкого азота превышает 3%. Результаты комплексных исследований опытных партий Cu-Nb проводов показали, что разработанная технология позволила получить новый класс обмоточных проводов, обладающих рекордно высоким сочетанием электропроводности (примерно 70% IACS при комнатной температуре и примерно 300% IACS при температуре жидкого азота) и механической прочности (σ_b не меньше 1200 МПа при комнатной температуре и не меньше 1500 МПа при температуре жидкого азота).

Специалисты из НИИ «Севкабель» заинтересовались этими разработками для использования их при создании новых кабелей в качестве токопроводящих жил. По нашему техническому заданию была изготовлена опытная партия нанопроволоки, которая затем была использована для изготовления канат-кабеля, рассчитанного на растягивающие нагрузки до 25 т.

Еще одним примером применения нанотехнологии является изготовление обмоточного провода с использованием тонкодисперсного порошка окиси кремния, введенного химическим способом в полиимидную изоляцию. Этот метод позволил улучшить качество готового провода и существенно повысить его температурный индекс [7].

Предпринимаются попытки создать «идеально чистый нанопровод», к которому не пристаю частицы пыли, масел, воды и т. п.

Материалы для изоляции, экранирующих и защитных оболочек

Здесь большое внимание исследователей привлекают углеродные нанотрубки, которые используются в качестве добавок в полимерные материалы, то есть материалы для изготовления изолирующих и защитных элементов конструкции кабелей, для ограничения способности к распространению горения. Содержание нанонаполнителя составляет от 2 до 7% от общей массы конечного компаунда [5, 7].

На основе наноструктур возможно создание радиопоглощающих материалов, что может иметь значение для изготовления экранирующих оболочек в кабелях, предназначенных для передачи информации. Сообщалось о создании и исследованиях таких покрытий в виде пленок гидрогенизированного углерода с наночастицами никеля и хрома [10].

Кабели

Интересно сообщение пресс-центра LS Cable о том, что эта компания использует нанотехнологии при производстве кабелей [11]. Это достижение является результатом двухлетних исследований, проведенных совместно с Сеульским Национальным Университетом, в результате которых были разработаны соответствующие технологии и необходимые для производства кабелей материалы, к особенностям которых относится отсутствие

токсичности, огнестойкость, соответствие экологическим требованиям.

В ходе этих работ созданы материалы с высокой огнестойкостью, в которых содержание замедлителей распространения горения снижено на 30% по сравнению с существующими материалами.

Компания подала шесть заявок на патентование полученных результатов, которые сейчас проходят стадии рассмотрения на национальном и международном уровнях.

Компания заявила, что ее целью является агрессивное наступление на такой экономически привлекательный сегмент рынка, как кабели для электронных приборов, автомобилей, судов и кабели для подводной прокладки.

Насколько можно судить по краткой информации от LS Cable, нанотехнологии использовались для получения полимерных защитных материалов.

Более комплексный подход, ориентированный на будущее, отражен в патенте 7345242 США, МПК Н 01 В 3/44 — «Электрический композитный проводник и кабель с таким проводником», автор — Chen Go Lane (Hon Hai Precision Inst. Co, Ltd). Патентом защищается следующее решение. Токопроводящая жила — композиционная, изготавливается из металла с высокой удельной электропроводностью (медь, серебро, цинк и их сплавы), в который внедрены углеродные нанотрубки. Метод изготовления ТПЖ — спекание, горячее прессование и др. Конструкция кабеля включает несколько оболочек — изолирующую, полупроводящую, защитную, которые последовательно накладывают на жилу. Все оболочки являются композиционными и имеют полимерную матрицу; полимер изолирующей и защитной оболочки наполнен частицами наноглины, а полимер полупроводящей оболочки — углеродными нанотрубками.

Оптическое волокно

Параметры промышленно выпускаемых оптических волокон приближаются к теоретически предельным значениям, и это обстоятельство стимулирует работы по созданию так называемых фотонно-кристаллических волокон, внутренняя структура которых формируется на наномасштабе [12].

Считается, что такие волокна гораздо более широкополосны по сравнению со стандартными кварцевыми одномодовыми волокнами [13]. Однако уровень потерь в таких волокнах не удалось пока существенно снизить. Это обстоятельство стало причиной дискуссий о дальнейшей судьбе таких исследований. Тем не менее, такие компании, как Coring, Lucent, Nortel и др., активно занимаются разработками фотонно-кристаллического волокна и кабеля. Сообщалось об успешной передаче по фотонно-кристаллическому волокну длиной 2 км оптического цифрового потока со скоростью 40 Гбит/с [14].

Возможно, что нанотехнологические принципы позволят получить практически значимые результаты и в этой области, что может привести к созданию новых оптических кабелей.

Работы по развитию нанотехнологий за рубежом и в России

Информация о мировой экспансии нанотехнологий дает наглядное представление о продолжительности, масштабах и затратах на исследования в этой области. Характерным является пример США, где с 2001 г. действует программа NNI (Национальная нанотехнологическая инициатива), целью которой является координация на федеральном уровне исследований и разработок в области нанотехнологий. В программу включены проекты, реализуемые в 25 федеральных агентствах, 13 из которых получают средства из федерального бюджета: на 2009 г. выделено \$1,527 млрд [15].

Интересно целевое назначение расходов бюджетных денег по направлениям:

- Фундаментальные явления и процессы.
- Наноматериалы.
- Наноразмерные устройства и системы.
- Создание исследовательской и измерительной техники, метрология и стандарты.
- Нанопроизводство.
- Строительство, организация и оснащение исследовательских центров.
- Окружающая среда, здоровье и безопасность (EHS).
- Образование, социальная составляющая.

Показателен рост объема прямого финансирования работ, связанных с EHS, — с \$68 млн в 2006 г. до \$76 млн в этом году.

Этот факт свидетельствует о большом внимании к возможным последствиям производства и практического применения новых материалов на основе методов нанотехнологий. Эти вопросы также находятся в поле зрения международной организации по стандартизации ISO.

Работы по развитию нанотехнологий в США широко проводятся и вне рамок федерального бюджета. В результате США — страна с крупнейшим оборотом рынка наноматериалов: \$1,12 млрд в 2008 г. Вторым по величине рынка регионом является Западная Европа, на долю которой по итогам прошлого года пришлось 30% мировых доходов [16].

Как полагают аналитики, к 2015 году оборот нанометаллов достигнет \$3 млрд, а углеродных нанотрубок — \$1 млрд.

В России для развития и практического внедрения нанотехнологий за прошедшие годы был решен ряд крупных системных вопросов. Созданы госкорпорация «РОСНАНО» и Национальная ассоциация нанодустрии. Налажен выпуск первого в нашей стране журнала «Российские нанотехнологии», с 2009 г. издается журнал «Композиты и наноструктуры», в Интернете можно читать «Российский электронный наножурнал» (<http://www.nanorf.ru>),

издано много книг по этой тематике. Проводятся международные конференции и выставки.

Многие исследовательские организации и учебные центры успешно работали в этом направлении, получено много интересных результатов.

Для подготовки специалистов в области нанотехнологий в вузах страны начато обучение студентов по этой специальности, созданы кафедры нанотехнологий. Специально для нужд кабельной отрасли в ИрГТУ создано направление «Электроизоляция, кабельная и конденсаторная техника — нанотехнологии».

В МГУ продолжается работа по созданию нового нанотехнологического центра [17].

В СПбГУ планируется создание нанотехнологического инновационно-внедренческого центра.

А пока имеет место нехватка специалистов в этой новой перспективной области науки и техники.

Для нужд судостроения в ЦНИИ КМ «Прометей» создается научно-технологический комплекс по разработке конструктивных наноматериалов. В апреле 2008 г. введена в строй первая очередь этого центра [18].

Реализация этого проекта согласуется с планами замены в ближайшие 20 лет почти всего российского флота [19]. При этом ставится цель увеличить жизненный цикл кораблей с 15–20 лет до 35–40 лет. Соответствующие требования будут предъявляться и ко всему оборудованию судов, в том числе и к кабелям.

Понимание важности и решимость поставить на службу экономике потенциал нанотехнологий комплексно проявились в республике Татарстан и, что показательно в контексте изложенного выше, это относится конкретно и к кабельной промышленности: здесь для ее нужд реализуется проект с использованием нанотехнологий по производству силиканольносшиваемых пероксидных композиций [20]. В России нет производства данного вида продукции, потребности в ней на 100% удовлетворяются за счет импорта.

Общий объем инвестиций для реализации проекта составляет 700 млн руб.

В настоящее время проект находится в стадии исполнения. Базовое предприятие расположено на территории Высокогорского района республики Татарстан, где уже полностью подготовлена производственная площадка со всей инфраструктурой.

Вообще, в Татарстане в рамках взаимодействия с ГК «Роснанотех» осуществляется продвижение 41 проекта по созданию промышленных нанотехнологий с объемом финансирования 30 млрд руб. [21]. К приоритетным задачам относится разработка, согласование и утверждение комплексной программы проектного развития нанодустрии Республики Татарстан на 2009–2013 годы совместно с ГК «Роснанотех», а также разработка и согласование с ГК «Роснанотех» и Министерством образования и науки Российской Федерации концепции межрегионального в рамках ПФО

проекта создания муниципального образования «Международный центр нанотехнологий».

В ноябре 2009 г. пройдет X международная конференция «Нанотехнологии в промышленности» и международная выставка «Нанотехнологии. Казань-2009». Эти события последуют за II Международным форумом по нанотехнологиям в Москве (6–8 октября 2009 г.).

Следует отметить, что проведение конференций и выставок является наиболее эффективным средством обмена актуальной информацией и стимулом к принятию важных рекомендаций и решений, направленных на ускорение процесса развития и практического внедрения нанотехнологий. К наиболее заметным мероприятиям такого рода в нашей стране относятся международные научно-практические конференции «Нанотехнологии — производству». Очередная, пятая конференция была проведена в ноябре 2008 г. (научкоград Фрязино, Московская обл.). В решении этой конференции [21], в частности, отмечается:

- В России разработан достаточно большой спектр нанопроductии, в том числе нанопорошков, нанокompозитов, нанокерамики, а также ряд уникальных технологий получения нанопроductов.
- Назрел вопрос разработки «Стандарта безопасности» в сфере производства и применения наноматериалов, что позволит приступить к разработке «Технических регламентов».
- Организована серия семинаров, сформированы рабочие группы по важнейшим направлениям развития нанотехнологий, которые приступили к разработке крупных целевых программ, ориентированных на внедрение нанотехнологий в конкретные отрасли промышленности и социальные сферы.
- Существует огромный пласт сопряженных с развитием нанотехнологий этических, социальных, гуманитарных и философских вопросов.
- Все большее значение приобретают вопросы безопасности проductии нанотехнологий, самих нанотехнологий, утилизации нанопроductии.
- Специалисты в области нанотехнологий поняли, как и с помощью каких нанокomпонентов можно изменять свойства и характеристики материалов, однако эти знания в своей основе получены эмпирическим путем.
- Отсутствие аппарата моделирования нанопроцессов и наноструктур приводит к длительному пути экспериментального решения стоящих задач.

Следующая, VI научно-практическая конференция «Нанотехнологии — производству» будет проведена осенью 2009 г. в г. Фрязино.

Таким образом, очевидно, что работы по развитию нанотехнологий и их освоению для промышленного применения, в том числе и в России, ведутся ускоренными темпами.

Заключение

Возможности создания новых материалов и новой продукции с использованием нанотехнологий представляются весьма многообещающими. При этом в каждой конкретной области применения имеются свои задачи и проблемы.

Разработчики кабелей имеют основания надеяться на реализацию потенциала нанотехнологий для создания продукции новых поколений. Однако практические результаты в требуемом комплексе могут быть получены при объединении усилий и возможностей специалистов в области нанотехнологий и разработчиков кабельной продукции.

Хочется надеяться, что получение желаемых практических результатов — вопрос ближайшего времени. Успех, безусловно, зависит от эффективности организации этого процесса и финансовой поддержки со стороны государства в рамках государственной политики, направленной на превращение нанотехнологий в средство изменения технико-экономической ситуации в стране. ■

Литература

1. <http://spkurdyumov.narod.ru/ELENIN.htm>
2. http://rivasoft.ru/readarticle.php?article_id=6
3. Юрьев С. Технологии, экология, здоровье // Компоненты и технологии. 2009. № 4, 5.
4. Cizmic H. Nanotechnology to optimize and construct special cables // Wire Journal International. 2005. № 4.
5. Cizmic H. Nanotechnology: how small is the nanoworld in cable industry // Wire Journal International. 2007. № 3.
6. <http://www.ruscable.ru/news/2008/06/05>
7. http://www.ruscable.ru/news/2008/03/24/nanotexnologii_perspektivnoe
8. Светиков Ю. Современные тенденции развития кабельного производства // Компоненты и технологии. 2007. № 8.
9. Путилов А. В., Панцырный В. И., Шиков А. К., Воробьева Ф. Е., Хлебова Н. Е., Дробышев В. А., Козленкова Н. И., Беляков Н. А., Потапенко И. И. Создание сверхвысокопрочных наноструктурных микрокомпозиционных Cu-Nb электротехнических проводов с использованием методов пластической деформации // Цветные металлы. 2008. № 3.
10. Николайчук Г. А., Петров В. В., Яковлев С. В., Луцев Л. В. Радиопоглощающие материалы на основе наноструктур // Нанотехника. 2009. № 1.
11. http://www.lscable.com/pr/news_read.asp?idx=982&pageno=1&pageno=1&kTy
13. Наний О. Е., Павлова Е. Г. Фотонно-кристаллические волокна // Lightwave. Russian edition. 2003. № 3.
14. Hasegawa H. et al. 40 Gbit/s — 2 km photonic crystal fibre transmission with 850 nm single mode VCSEL // Electronic Letters. 2007. 43. № 11.
15. http://www.nano.gov/html/about/home_about.html
16. <http://nanodigest.ru/content/view/253/39>
17. http://world-of-nano.blogspot.com/2008/03/blog-post_22.html
18. Совещание по вопросам развития судостроения // Судостроение. 2008. № 2.
19. Russia seeks fleet renewal // Warship Technol. 2007. May.
20. <http://www.nanonews.ru/news/2009/>
21. Решение V международной научно-практической конференции «Нанотехнологии — производству 2008» // Нанотехника. 2009. № 1.