

Неполнота надежности энергосистемы дает потери выходного эффекта ее работы, на практике – недоотпуск энергии потребителям.

УДК 621.3

## НАНОТЕХНОЛОГИИ – ВОРОТА, ОТКРЫВАЮЩИЕСЯ В ИНОЙ МИР

*Кобыль С.А.*

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент РЖЕВСКАЯ С.П.

**Что такое нанотехнологии?** В мире до сих пор нет однозначного определения этого термина. На данный момент само существование наноматериалов и нанотехнологий вызывает разнообразные мнения, взгляды и порождает мифы. Одно из самых популярных объяснений для простых обывателей таково: нанотехнологии – это определенные технологии манипулирования веществом на молекулярном и атомном уровне.

В переводе с греческого слово «нано» означает карлик. Один нанометр (нм) – это одна миллиардная часть метра (10<sup>-9</sup> м). Размер объектов, с которыми имеют дело нанотехнологи, лежат в диапазоне от 0,1 до 100 нм. Большинство атомов имеют диаметр от 0,1 до 0,2 нм, а толщина нитей ДНК – около 2 нм. Диаметр эритроцитов – 7000 нм, а толщина человеческого волоса – 80000 нм. Нанометр очень и очень мал. Нанометр во столько же раз меньше одного метра, сколько толщина пальца меньше диаметра земли. Нанотехнология ныне находится в начальной стадии развития, поскольку основные открытия, предсказываемые в этой области, все еще не сделаны. Тем не менее, проведенные исследования уже сейчас дают практические результаты. За применение передовых научных исследований, нанотехнологию относят к высоким технологиям.

**Из истории развития нанотехнологий.** Историк науки Ричард Букер отмечает, что историю нанотехнологий создать крайне сложно по двум причинам – во-первых, «размытости» самого этого понятия. Например, нанотехнологии часто не являются «технологиями» в привычном смысле этого слова. Во-вторых, человечество всегда пыталось экспериментировать с нанотехнологиями, даже и не подозревая об этом.

Чарльз Пул, автор книги «введение в нанотехнологию», приводит показательный пример: в британском музее хранится, так называемый «кубок Ликурга» (на стенах кубка изображены сцены из жизни этого великого спартанского законодателя), изготовленный древнеримскими мастерами – он содержит микроскопические частицы золота и серебра, добавленные в стекло. При различном освещении кубок меняет цвет – от темно-красного до светло-золотистого. Аналогичные технологии применялись и при создании витражей средневековых европейских соборов.

Отцом нанотехнологии можно считать греческого философа демокрита. Примерно в 400 г. до н.э. Он впервые использовал слово «атом», что в переводе с греческого означает «нераскалываемый», для описания самой малой частицы вещества. В 1661 г. ирландский химик Роберт Бойл опубликовал статью, в которой раскритиковал утверждение аристотеля, согласно которому все на земле состоит из четырех элементов – воды, земли, огня и воздуха (философская основа основ тогдашней алхимии, химии и физики). Бойл утверждал, что все состоит из «корпускулов» – сверхмалых деталей, которые в разных сочетаниях образуют различные вещества и предметы. Впоследствии идеи Демокрита и Бойла были приняты научным сообществом.

Вероятно впервые в современной истории нанотехнологический прорыв был достигнут американским изобретателем Джорджем Истмэном (впоследствии основал известную компанию Kodak), который изготовил фотопленку (это произошло в 1883 г.).

1905 г. Швейцарский физик Альберт Эйнштейн опубликовал работу, в которой доказывал, что размер молекулы сахара составляет примерно 1 нанометр.

1931 г. Немецкие физики Макс Кнолл и Эрнст Руска создали электронный микроскоп, который впервые позволил исследовать нанообъекты.

1968 г. Альфред Чо и Джон Артур, сотрудники научного подразделения американской компании Bell, разработали теоретические основы нанотехнологии при обработке поверхностей.

1974 г. Японский физик Норио Танигучи ввел в научный оборот слово «нанотехнологии», которым предложил называть механизмы, размером менее одного микрона. Греческое слово «нанос» означает «гном», им обозначают миллиардные части целого.

1981 г. Германские физики Герд Бинниг и Генрих Рорер создали микроскоп, способный показывать отдельные атомы.

1985 г. Американские физики Роберт Керл, Хэррольд Крото и Ричард Смэйли создали технологию, позволяющую точно измерять предметы, диаметром в один нанометр.

1986 г. Нанотехнология стала известна широкой публике. Американский футуролог Эрик Дрекслер опубликовал книгу, в которой предсказывал, что нанотехнология в скором времени начнет активно развиваться.

1989 г. Дональд Эйглер, сотрудник компании IBM, выложил название своей фирмы атомами ксенона.

1993 г. В США начали присуждать фейнмановскую премию, которая названа в честь физика Ричарда Фейнмана, который в 1959 г. произнес пророческую речь, в которой заявил, что многие научные проблемы будут решены лишь тогда, когда ученые научатся работать на атомарном уровне. В 1965 г. Фейнману была присуждена нобелевская премия за исследования в сфере квантовой электродинамики – ныне это одна из областей нанонауки.

1998 г. Голландский физик Сеез Деккер создал транзистор на основе нанотехнологий.

1999 г. Американские физики Джеймс Тур и Марк Рид определили, что отдельная молекула способна вести себя также, как молекулярные цепочки.

2000 г. Администрация США поддержала создание национальной инициативы в области нанотехнологии. Нанотехнологические исследования получили государственное финансирование. Тогда из федерального бюджета было выделено 500 млн. \$.

**Применение нанотехнологий в повсемесной жизни!** В последние годы опубликовано множество оптимистических прогнозов о способах применения нанотехнологий. Свойства материалов в наномасштабе отличаются от крупных масштабов из-за того, что в наномасштабе площадь поверхности на единицу объема чрезвычайно велика. Нанотехнологии способны кардинально изменить методы, ныне применяемые в микроэлектронике, оптоэлектронике и медицине. Поэтому нанотехнологии обладают поистине гигантским потенциалом.

Итак, в каких же областях жизни используются продукты нано? Их бесчисленное множество.

*Пища.* Нанопища – это еда, для образования которой использовались нанотехнологии. Скажем, при обработке растений или содержания скота, или в создании упаковки. Такая пища содержит видоизмененные молекулы, которые наделяют продукты питания необычными для них свойствами: например, они могут светиться в темноте или быть необычного цвета. Что касается пользы, то здесь она является главным аргументом за. Дело в том, что нанотехнологии в создании пищи улучшают ее питательные свойства и делают более качественной. Такое производство продуктов идеально подходит развивающимся странам, так как является относительно недорогим. Развитие стра-

ны тоже стремятся заполучить столь полезный и ценный продукт, потому что привыкли следить за своим здоровьем, а развитие нанотехнологий может наделить пищу большим количеством витаминов и снизить содержание в ней вредных веществ.

*Здоровье.* Здесь развитие нанотехнологий отражается практически на всем. Ученые применяют свои разработки в самых разнообразных отраслях медицины. Не так давно специалисты из Мичиганского университета создали совершенно новый вариант вакцины от сибирской язвы, естественно, с применением нанотехнологий. Они заключили один из возбудителей болезни в частицы, состоящие из воды, спирта, соевого масла и некоторых других, и такую эмульсию впрыскивали в нос подопытным мышам. Вследствие этого у животных выработался иммунитет к данной болезни. Плюсы такой вакцины в том, что она может вводиться в организм пораженного болезнью путем распыления, без шприца, а также неприхотлива в плане хранения: она может находиться при комнатной температуре.

Применяются нанотехнологии и для укрепления протезов. Ученые изобрели нанопроволоку, которая позволяет прочно укрепить титановые имплантанты. Такие протезы применяются в медицине для замены поврежденных костей. Но мышечная ткань не может прочно укрепиться на гладкой поверхности обычного титанового имплантанта, поэтому его приходится менять, а значит, лишний раз извне вторгаться в организм, чего он совсем не любит. Однако покрытие имплантантов нанопроволокой диоксида титана позволило разрешить эту проблему. Специалисты школ фармацевтики создали трехмерную модель раковых клеток, сосуществующих рядом с нормальными здоровыми клетками. Они смогли ввести в такую модель специальные наночастицы, которые пригодны для доставки лекарств. В процессе эксперимента моделировалось взаимодействие раковых клеток с нормальными тканями, которое определяется положением опухоли внутри головного мозга. По словам ученых, в дальнейшем такие исследования могут привести к эффективной терапии рака мозга.

Наноструктуры имеют свои специфические свойства. Например, наночастицы керамики используются в приготовлении красок для автомобилей, которые стойки к всевозможным царапинам, наночастицы золота имеют красноватый оттенок, наночастицы серебра защищают людей от инфекций. Обычно такие частицы создаются химическим способом и содержат в себе много примесей. В Лазерном Центре Ганновера для получения наночастиц используют лазер. Луч лазера отсоединяет частицы нано от поверхности материала в соответствующую жидкость (например, масло, воду), и при помощи ее чувствительный наноматериал стабилизируется. Особенность такого метода в том, что любой твердый материал может быть расколот на частицы. То есть такой метод позволяет смешивать наночастицы, сочетая, как положено, компоненты. Как мы уже отметили, это важно при производстве пластмассовых материалов и медицинских продуктов.

Разработки специалистов не останавливаются, а напротив с каждым днем достигают все новых и новых вершин. В ближайшем будущем наноманиты смогут заменить полупроводники, нановолокна станут альтернативой всех сверхпрочных материалов, уже сейчас углеродные нанотрубки можно применять в качестве защиты от микроволновых излучений, по прогнозам ученых, нанотехнологии смогут защитить банкноты от подделок, наноспутниками возможно будет управлять с помощью мобильного телефона, нанолед не будет таять при температуре человеческого тела, а также многое и многое другое.

Отношение к таким технологиям в мире в целом неоднозначное. В Европе, нанотехнологию рассматривают в качестве основы для будущего медицины, энергетики, информационной, а также экологической технологий. Россия тоже видит в нанотехнологиях свое будущее, но пока значительно отстает от ведущих держав в их развитии и

производстве. Что касается государства, то оно намеревается всячески помогать и содействовать развитию в стране таких технологий. Правительство собирается обеспечить нормальные условия труда и необходимую финансовую поддержку.

**Энергетика живой клетки.** Одно из направлений современной нанотехнологии – создание «молекулярного производства». Основная идея этого нового направления – обратиться к процессам в живой клетке и попытаться в той или иной мере скопировать, смоделировать некоторые из них, представляющие несомненный научный и практический интерес.

Такой интерес представляет экспериментально обнаруженная в конце 60-х годов прошлого века академиком РАН В.П. Скулачевым и профессором Е.А. Либерманом генерация электрической энергии молекулярными структурами митохондрий – органелл живых клеток.

Молекулярные комплексы митохондриальных (внутренних) мембран живых клеток – по сути, белковые электростанции. Они подобны электрической батарее, элементы которой соединены друг с другом. Любой из них может быть отделен от других без потери электрических свойств.

Этими же исследователями была подтверждена универсальность процесса генерации тока белковыми молекулами (ферментами) для всех живых существ – от растений до человека. Ими высказано также предположение о том, что открытие в будущем принципа действия и условий работы механизма генерации белковыми комплексами электрического тока позволит создать новые автономные, более эффективные и экологически безопасные технологии для энергетики.

Тема эта присутствует в опубликованных трудах и высказываниях известных деятелей науки и техники XX века: К.Э. Циолковского, К.А. Тимирязева, В.А. Энгельгардта, Ф. Жолио-Кюри. Выдающийся французский ученый-атомщик Фредерик Жолио-Кюри писал: «Не столько атомная энергия, сколько массовый синтез молекул, аналогичных хлорофиллу, произведет подлинный переворот в энергетике мира». Здесь знаменитый физик отдает приоритет в развитии энергетики XXI века не атомным электростанциям, а поиску технологий и устройств, моделирующих энергетические процессы, идущие на уровне молекулярных структур (в том числе молекул хлорофилла) живых клеток, причем с очень высоким коэффициентом преобразования энергии, почти равным единице. Такие и подобные этим процессы должны наблюдаться и в элементарных, ультратонких проводящих и полупроводниковых структурах твердого тела.

Речь шла, по существу, о проникновении физических идей в биологию, что открывало новые горизонты в науке. Тогда же Павел Кондратьевич обосновал и предсказал очень важное для современной нанонауки и нанотехнологии положение о том, что уменьшение абсолютного числа электронов в наноструктуре увеличивает несимметрию в их движении. Она будет стопроцентной, если в ней будет двигаться только один электрон. Сейчас это подтверждено экспериментами в области наноэнергетики. По существу, это означало, что электроника через биологию приходит в энергетику.

**Нанoeлектроника.** Аналогия этому положению есть и в замечании академика П.Л. Капицы: «Электроника повторит историю электротехники. Во времена моей молодости электротехника использовалась как средство связи, а потом пришла в энергетику. То же будет и с электроникой. От передачи информации... Она тоже придет в энергетику».

Прогноз ученых оправдывается, но с одной существенной поправкой: наноэлектроника приходит в наноэнергетику, причем через нанобиологию.

Созданию и развитию наноэнергетики помог бум производства и продаж в мире (более 100 миллиардов долларов в год) сотовых телефонов, ноутбуков и других мультимедийных устройств. Всем им нужны источники энергии, малогабаритные и рабо-

тающие достаточно долго. А не за горами и появление микро- и нанороботов, которым также нужны нанобатарейки. Главное ограничение для развития этих перспективных микро- и наноустройств накладывают элементы энергопитания. Они сравнительно громоздки и тяжелы. Элементы достаточно малых размеров разработаны, однако их мощности не хватает для перемещения даже собственного веса. «Батарейки эти больно тяжелые», – сетуют наноинженеры. Они мечтают о том, чтобы их детища обходились все без батареек, добывая электроэнергию из окружающей среды.

Такую возможность им может предоставить швейцарский нанохимик, профессор Лозанского технологического университета Михаэль Гретцель. Большую часть своей жизни он посвятил изучению и изобретению наноструктур для решения проблемы преобразования, концентрации (накопления), хранения и распределения энергии, подобно тому как это делает растительная клетка. Его плодотворная работа оценена присуждением ему нескольких международных премий, в том числе Европейской премией инноваций «Миллениум-2000». Британское королевское общество наградило его очень престижной медалью имени Фарадея.

Создание «элемента Гретцеля» – наноприбора, использующего солнечный свет для его преобразования в электрический ток, стало первым существенным вкладом профессора в создание наноэнергетики. Энергоэффективность наноисточника энергии Гретцеля около 7%. налажено его производство, и он используется для освещения швейцарских часов. Наноэнергетическое устройство Гретцеля – пример создания нового, безопасного, недорогого источника электроэнергии. Совершенствование этого поративного наногенератора тока позволит его использовать для автономного питания различной электронной аппаратуры и сотовых телефонов.

Однако у «элемента Гретцеля» есть два недостатка: зависимость от наличия солнечного света и очень низкая энергоэффективность. Да и то понятно – элемент как бы копирует, моделирует работу энергетики растительной клетки, жизнь которой полностью зависит от солнечного света.

Профессор П.К. Ощепков вовлек научный мир в решение еще более новаторской и грандиозной задачи – математического и физического моделирования энергетики клетки животных (в отличие от растительных) организмов. Жизнь и энергетика этих клеток, как мы знаем, не зависит от солнечного света. Такая «темновая энергетика», впрочем, работает и в растительной клетке, но только ночью, когда света нет.

На базе современных достижений в области биоэнергетики живой клетки, нанопфизики и нанотехнологии мною разработаны нанобиофизическая и математическая модели генерации клетками животных организмов (в том числе и человека) электрического тока. Клетка использует его для воспроизводства (синтеза) необходимых в ее жизнедеятельности ансамблей (кластеров) макромолекул (наноструктур), для управления процессами внутри себя и для связи, информационного общения с другими клетками и органами.

Анализ предложенных моделей показал их соответствие (адекватность) механизму биогенерации электроэнергии, основанному на представлениях о волновых свойствах электронов проводимости и их способности к преодолению (туннелированию) асимметричных энергетических нанобарьеров. Все это отчасти напоминало бы работу первого сканирующего туннельного микроскопа, за создание которого швейцарские ученые Г. Биннинг и Г. Рорер получили Нобелевскую премию, если бы не одно немаловажное обстоятельство. Их микроскоп использует небольшое напряжение, чтобы создать туннельный ток (поток электронов) между наноострием и подложкой, на которой расположены наблюдаемые исследователями нанобъекты (атомы, молекулы или их ансамбли). Наше же устройство, моделирующее процесс биогенерации электроэнергии, наоборот, создает особые условия для прохождения туннельного тока (электронов)

через асимметричный нанобарьер, в результате чего на его обкладках создается (генерируется) электрическое напряжение.

Схема проектируемого устройства составляется из нанобарьеров, соединенных между собой проводящими ток наноструктурами (например, нанотрубками или молекулярными ансамблями), соединенными между собой и замкнутыми (в отсутствие рабочей нагрузки) на заряжаемый наноаккумулятор электроэнергии.

Дальнейшее совершенствование нанотехнологий производства схем (чипов) наноэлектроники и молекулярной электроники, из которых, как из кубиков, будут собираться микроблоки, а из них все более крупные блоки новых источников электроэнергии, будет сопровождаться уменьшением их размеров и стоимости, а мощность, наоборот, станет все более и более возрастать. Они найдут применение не только в сотовых телефонах и ноутбуках, но со временем станут основой автономных «домашних электростанций».

К сожалению, пока в нашей стране нет целевой программы развития нанотехнологий и исследований, в том числе в области наноэнергетики. Нет соответствующего высокотехнологичного оборудования. И поэтому оценивать, проверять наши научные разработки сегодня приходится косвенно, используя данные зарубежных, например швейцарских, наноэнергетиков, которыми руководит профессор М. Гретцель.

УДК 621.315

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА ПРЕДЕЛЬНОГО СТЫГИВАНИЯ ПРОВОДНИКОВ РАСЩЕПЛЕННОЙ ФАЗЫ ПРИ КОРОТКОМ ЗАМЫКАНИИ

*Вечер А.А.*

Научный руководитель – АНДРУКЕВИЧ А.П.

Оценка электродинамической стойкости расщепленной фазы заключается в проверке схлестывания проводов фазы и механической прочности. Механическая прочность проводов определяется максимальными тяжениями проводов при коротком замыкании (КЗ). Небольшие расстояния между проводами расщепленной фазы (РФ) обуславливают большие электродинамические усилия, действующие внутри расщепленной фазы при КЗ. Испытания в опытных пролетах показали, что при определенном сочетании конструктивных параметров расщепленной фазы и величины токов КЗ возникает схлестывание проводов. После схлестывания провода фазы двигаются под действием междуфазных ЭДУ. В момент максимального стягивания проводов в пучке под действием внутрифазных ЭДУ происходит резкое увеличение тяжения фаз. Этот пик тяжения назван первым максимумом  $T_{1\max}$ .

Расчет динамики проводов расщепленной фазы при КЗ заключается в определении следующих параметров: первого максимума тяжения, максимальной силы сжатия, действующей на распорку, времени схлестывания проводов.

На кафедре «Электрические станции» БНТУ была разработана компьютерная программа FAZA, в которой реализуется численный метод динамики расщепленной фазы при коротком замыкании. В качестве расчетной модели фазы принимается пучок гибких упругих нитей, сопротивляющихся кручению, которые в заданных точках пролета соединяются между собой дистанционными распорками. Такая модель наиболее полно учитывает геометрические и физико-механические характеристики расщепленной фазы в целом пролете. Математическое описание динамики расщепленной фазы на