



ВОЕННЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ: СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ И МАСКИРОВКИ, ДАТЧИКИ, ОБЫЧНЫЕ ВИДЫ ВООРУЖЕНИЙ

MILITARY APPLICATIONS OF NANOTECHNOLOGY: ARMOR AND CAMOUFLAGE, SENSORS, CONVENTIONAL WEAPONS

Ю.Альтман
Ju.Altmann

В продолжении публикации отрывков из книги Юргена Альтмана "Военные нанотехнологии. Возможности применения и превентивного контроля вооружений"^{*} рассматривается применение нанотехнологий (НТ) в создании камуфляжа и средств маскировки, распределенных датчиков, брони и средств защиты, а также обычных видов вооружений.

In the excerpts from the book by Jurgen Altmann, "Military nanotechnology. Potential applications and preventive arms control"^{*} such issues are discussed as the use of nanotechnology in the development of armor and camouflage, sensors for military applications and conventional weapons.

Нанотехнологии предоставляют разработчикам новые возможности изменения цвета (или визуально воспринимаемой окраски), производства сверхминиатюрных датчиков, создания средств защиты, а также улучшения обычных видов вооружений.

КАМУФЛЯЖ И СРЕДСТВА МАСКИРОВКИ

Прежде всего можно упомянуть о создании защитных и маскировочных покрытий на основе технологий, используемых в гибких дисплеях. Например, мобильные частицы пигмента, покрывающие поверхность скрываемого объекта, могут изменять свое положение или ориентацию, "выставляя" участки или грани с требуемой окраской. В более сложных вариантах маскировки некоторые участки поверхности могут изменять свою структуру в субволновом масштабе, создавая новую окраску, подобно тому, что происходит при движении крыльев бабочек и других насекомых (в этом случае восприятие окраски зависит от направления наблюдения). Такой "активный" камуфляж может применяться, например, в боевом обмундировании личного состава,

а также при маскировке боевых и транспортных машин, самолетов. Изменение цвета и текстуры защитной поверхности позволяет личному составу и маскируемым объектам просто "сливаться" с окружением или фоном, однако нельзя забывать, что такая маскировка защищает лишь от наблюдения по некоторым выделенным направлениям. Изменив угол зрения, внимательный (точнее, заинтересованный) наблюдатель всегда сможет "отделить" объект от фона. Обеспечение "невидимости" по всему азимуту остается пока неразрешимой задачей, хотя в одном из проектов и планируется весьма амбициозная задача "обеспечения невидимости солдата во всем спектре электромагнитного излучения".

В качестве альтернативы можно предложить свето-поглощающие материалы типа используемых в известной технологии "стелс", когда маскируемые поверхности (например, обшивка самолета) покрываются слоем вещества, поглощающего излучение радара. Уже сейчас методами фотоники можно создавать нити и ткани аналогичного типа для военной униформы или покрытий, поглощающих излучение в видимом и

^{*} Альтман Ю. Военные нанотехнологии. Возможности применения и превентивного контроля вооружений / Изд. 2-е, доп. и испр. – М.: ТЕХНОСФЕРА, 2008. 424 с.



инфракрасном диапазоне, причем коэффициент отражения такого покрытия для заданных длин волн можно регулировать в реальном масштабе времени. Помимо простого поглощения света в видимом диапазоне, маскировочные покрытия могут одновременно создавать в других диапазонах спектра (например, в инфракрасном) некоторые "отражательные паттерны". Такие узоры или образы можно видеть, используя специальные очки, и в боевой обстановке они должны служить своеобразными штрих-кодами, позволяющими отличать противника, то есть идентифицировать участников "сражения" по известному в авиации принципу "свой/чужой". Кроме этого, материал покрытия может содержать специально подобранные наночастицы, поглощающие излучение (радарное или инфракрасное) на заданных частотах.

РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ ДАТЧИКИ

НТ позволяют производить практически неограниченное количество сверхминиатюрных датчиков (сенсоров) и других воспринимающих или следящих элементов, результатом чего может стать создание обширной системы распределенных датчиков. В принципе, такие нанодатчики могут обладать исключительно высокой чувствительностью, позволяющей им, например, регистрировать и взвешивать отдельные молекулы или микроорганизмы, используя микроскопические кронштейны, специальным образом подготовленные покрытия и т.д. НТ предоставляет множество новых возможностей для создания высокоэффективных и высокоизбирательных биодатчиков с самыми разнообразными практическими применениями. Так называемые интерфейсные платы могут не только получать информацию от целого набора сенсорных клеток (как это осуществляется в каналах ионообменных мембран живых организмов), но и обрабатывать ее, включая перевод в "оцифрованную" форму. Наборы или решетки (arrays) термочувствительных нанодатчиков уже могут воспринимать и создавать, например, инфракрасные "изображения" целых клеток (без использования привычной для таких исследований сложной криогенной техники), а невысокая чувствительность этого метода вполне компенсируется его дешевизной и удобством практического применения.

Общеизвестно, что миниатюризация размеров практически всех типов датчиков приводит к снижению их чувствительности, что почти всегда

имеет простое физическое обоснование, так как небольшие приборы всегда регистрируют меньшие значения измеряемой величины. Очевидно, что малые антенны и воспринимающие поверхности поглощают меньшие количества излучения, мембраны с малой площадью слабее прогибаются под воздействием регистрируемого давления, тонкие слои вещества поглощают меньшие количества излучения, малая пробная масса в датчиках ускорения соответствует более высокой резонансной частоте и т.п. Такие эффекты имеют общий характер, и на практике именно они сильно ограничивают возможности миниатюризации разнообразных приборов, не позволяя уменьшать размеры их деталей до нанометрического уровня (в некоторых случаях существенные физические ограничения проявляются гораздо раньше, еще на микроскопическом масштабе).

Размеры датчиков, входящих в состав более крупных и сложных систем (включающих в себя воспринимающие элементы, блоки обработки сигналов, каналы связи и электропитание), очень часто ограничиваются "снизу" условиями работы других составляющих системы, например минимальной длиной антенны, размерами источника питания и т.д. Применение НТ даже в этих случаях может оказаться весьма эффективным средством дальнейшей миниатюризации хотя бы за счет снижения размеров отдельных элементов и деталей.

Для обеспечения связи и энергопитания большого числа датчиков, вводимых в крупные элементы снаряжения и устройства (винтовки, сиденья транспортных средств, носилки, детали конструкции летательных аппаратов и многое другое), проще всего подключать их к общей системе крупных установок. Такие "распределенные" датчики, обеспеченные постоянной (возможно, проводной) связью и питанием, уже давно используются для логистики, контроля оборудования, слежения за состоянием окружающей среды и проверки безопасности.

Распределенные датчики, предназначенные для эксплуатации в реальных боевых условиях, должны удовлетворять совершенно иным требованиям. Они должны быть способны к автономной работе и быстрым перемещениям, что уже требует отдельной системы энергопитания и беспроводной связи (например, по радио или световыми сигналами). В конце 1990-х годов образцы датчиков боевого применения имели размеры в несколько сантиметров, однако успехи микроэлектроники позволяют



надеяться, что уже в ближайшие годы размеры снизятся до 1 мм, как предлагается в проекте Smart Dust. Проблемы питания и связи микродатчиков разработчики предполагают решить "пассивным" механизмом при помощи постоянно направленного на датчик излучения дистанционно удаленного лазера. На поверхности датчика открывается или закрывается "окно" (оптический затвор, располагаемый перед отражателем), что позволяет передавать отраженным лучом необходимую информацию. Недостатком такой связи является то, что она может осуществляться только в пределах прямой видимости, но, с другой стороны, противнику будет очень трудно перехватывать такие сообщения. Другим очевидным недостатком описываемой системы является то, что она позволяет легко "обнаружить" носитель датчика, но в некоторых ситуациях (например, при использовании дешевых беспилотных самолетов-разведчиков) потеря транспортного средства или носителя может оказаться приемлемой ценой за получаемую информацию.

Гораздо более гибкой и эффективной представляется система радиосвязи посредством самоорганизующейся сети, формируемой большим числом датчиков, в которой расстояние между отдельными элементами очень мало (речь идет о среднем расстоянии между отдельными датчиками в весьма плотной системе, связь между которыми осуществляется по "запросу"), однако очевидно, что перехват или нарушение такой системы связи противником становится значительно более легким.

Развитие НТ позволяет в близком будущем использовать на поле боя огромное число сверхмалых распределенных датчиков в виде облака пылинок, размеры которых не превышают 100 мкм. При массовом производстве такие датчики будут чрезвычайно дешевыми, вследствие чего при необходимости на требуемой территории можно будет распределять сотни или тысячи микроустройств, способных отслеживать самые разные параметры боевой обстановки. Они могут, например, воспринимать излучение в видимом, инфракрасном и радиочастотном диапазонах (включая создание изображений на основе получаемой информации); регистрировать акустические, сейсмические и магнитные сигналы; обнаруживать присутствие химических и биологических агентов и т.п. Сеть таких датчиков позволит достаточно верно оценить реальную боевую ситуацию, то есть учесть рас-

положение и перемещение боевых и транспортных устройств, дислокацию войск противника, наличие артиллерии, возможность управления и корректировки собственных средств поражения, оценку возможности применения противником химической или биологической атаки и т.д.

Распределенные датчики могут использоваться и для взаимной проверки выполнения международных договоров о разоружении или просто соглашений о перемирии или контроле в области самых разных видов вооружений (обычных, ядерных, химических или биологических). Разумеется, в некоторых конкретных ситуациях использование слишком большого числа сверхмалых датчиков может оказаться ненужным или даже контрпродуктивным. Распределенные датчики могут быть размещены в различных точках на длительный срок, причем во многих случаях не стоит беспокоиться о беспроводной связи и электропитании для передачи данных, так как для этих целей гораздо разумнее использовать очень надежные и удобные датчики обычных размеров (порядка сантиметров). Специфика использования НТ в этих ситуациях сводится скорее к внедрению датчиков (с повышенной чувствительностью, например, к химическим и биологическим агентам) в более крупные системы и устройства.

Можно ожидать, что через несколько лет начнется самое широкое использование и внедрение нанодатчиков стандартного типа, присоединяемых к самым разным элементам военного обмундирования и оборудования, а также их использование для проверки выполнения условий и соглашений. Разработка и изучение методов применения огромного числа очень небольших датчиков для непосредственного контроля обстановки на поле сражения представляет собой интересную военно-теоретическую проблему.

БРОНЯ И СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ

НТ, точнее говоря, создаваемые на их основе новые материалы, могут принципиально изменить классическую технику бронирования и средств защиты, использование которых обычно зависит от конкретных задач. Например, так называемая тяжелая защита традиционно представляет собой просто толстый слой прочного и плотного вещества, например, стали, иногда защищенный с внешней стороны тонким слоем другого материала или



специально подбираемых взрывчатых веществ (так называемая активная броневая защита). Создаваемые на основе НТ материалы обычно имеют небольшую плотность и не могут служить защитой от снарядов, осколков и других элементов с высокой кинетической энергией, поэтому в настоящее время представляется нецелесообразным их использование для бронезащиты. Возможно, такая замена станет очень важной в близком будущем, когда будут созданы, например, покрытия из так называемых аморфных сплавов или металлических стекол. Очевидно, что нанотехнологические процессы и материалы будут широко использоваться для модификации и повышения прочностных и иных характеристик отдельных элементов внешнего покрытия или активной бронезащиты.

Еще более интересными на сегодня выглядят перспективы наноматериалов в области производства так называемых легких видов брони, предназначенных для защиты от пуль и небольших осколков, а не от мощных бронбойных средств. Развитие НТ-материалов (обычно на основе нанокompозитов, структурированных волокон и т.п.) уже позволяет создавать очень легкие и прочные костюмы, доспехи или "униформы" из материалов, которые можно назвать легкобронированными. Такие вещества и материалы становятся все более популярными в сухопутных войсках и авиации, где разрабатываются планы их дальнейшего развития и использования в будущем. Надежную защиту от стрелкового оружия может обеспечить одежда из нановолокнистой ткани, предлагаемой одной из программ DARPA, целью которой заявлено "изготовление сверхлегкой брони или доспехов, вдвое превосходящих по характеристикам все существующие образцы материалов".

Нановолокнистые материалы планируется также использовать для создания тонкослойных покрытий, содержащих наноструктуры заданного типа, способных поглощать или отражать излучение заданной частоты, что должно обеспечить защиту военнослужащих от возможного лазерного или микроволнового облучения (вопросы защиты от химического и биологического воздействия будут рассмотрены в другом разделе).

На основе использования НТ-методов и материалов можно ожидать разработки не только некоторых типов усовершенствованной тяжелой брони, но и значительных изменений в экипировке и обмундировании личного состава, включая известные всем элементы и средства личной защиты.

ОБЫЧНЫЕ ВИДЫ ОРУЖИЙ

Производство более легких и прочных материалов, безусловно, должно способствовать развитию разнообразных обычных типов стрелкового и ствольного оружия, дальность действия которого должна возрастать за счет использования более эффективных метательных составов и, соответственно, большей скорости вылета снаряда любого типа из ствола. Для баллистических ракет, самолетов и разнообразных летательных аппаратов использование более легких и прочных НТ-материалов будет означать повышение скорости и дальности полета, повышение нагрузки и/или уменьшение размеров и веса всей установки.

Предполагается, что нановолокнистые композиты постепенно вытеснят (вплоть до полной замены) сталь в качестве конструкционного материала для изготовления стволов, затворов и других элементов стрелкового и легкого оружия. Возможно, в близком будущем это позволит вообще избавиться от применения металла в производстве стрелкового оружия любых типов, вплоть до отказа от тяжелых материалов (типа свинца) для изготовления пуль, так как стрельба будет производиться длинными и тонкими метательными элементами из легких материалов. Конечно, следует помнить, что наличие такого легкого оружия (изготовленного без применения металла) очень трудно будет обнаруживать существующими методами обеспечения безопасности (рентгеновские установки, индукционные металлоискатели и т.п.), в результате чего необходимо будет значительно усовершенствовать охранную технику и аппаратуру.

Использование НТ позволяет уменьшить размеры систем управления в гораздо большей степени, чем применявшиеся ранее методы MST. В принципе, на основе НТ уже можно задуматься о создании новой системы глобальной навигации (возможно, поддерживаемой существующей системой GPS) для наведения не только небольших ракет и артиллерийских снарядов, но даже самых небольших устройств или пуль, выстреливаемых из легкого оружия. В качестве аналога можно указать уже существующие проекты DARPA, связанные с разработкой инерционных МСТ-датчиков. В некоторых проектах для управления небольшими элементами конструкции (типа закрылков и т.п.) дополнительно используются и активные материалы. Высокая точность наводящих систем, в свою очередь, должна позволить значительно снизить вес снарядов, зарядов и обслуживающих



систем при сохранении требуемой плотности и эффективности огневой мощи.

В настоящее время почти все виды сердечников бронебойных снарядов и пуль изготавливаются из материалов повышенной плотности (чаще всего из сплавов вольфрама с обедненным ураном) в виде цилиндрических стержней с заостренным наконечником. Подкалиберные снаряды ускоряются в оружейном стволе за счет использования гильзы (так называемого "башмака"), отделяющейся от снаряда после вылета из ствола. Интересная проблема связана с составом сплавов, используемых для производства бронебойных сердечников. Дело в том, что удельный вес чистых вольфрама и урана составляет 19,3 и 19,0 г/см³, что почти соответствует предельной плотности упаковки тяжелых атомов кристаллической решетки в природе, вследствие чего любые технологии (не исключая и НТ) практически не могут сколь-нибудь заметным образом изменить реальную плотность таких сердечников. Практическая проблема заключается в том, что "пробивная способность" снаряда зависит не только от плотности, но и от механико-гидродинамических свойств его состава, для улучшения которых и используются не чистые металлы, а их сплавы. В обедненном уране можно создавать так называемые адиабатические или локальные сдвиговые напряжения, под воздействием которых при ударе деформируемое вещество наконечника легко смещается, в результате чего происходит как бы непрерывное "самозатачивание" ударника.

В настоящее время на основе НТ можно предложить две возможности создания аналогичных эффектов в ударниках из сплава вольфрам/уран. Первая из них основана на использовании ударников из аморфных металлов или так называемых металлических стекол, которые часто относят к НТ-материалам, несмотря на то, что их получают обычными методами перемешивания металлов в жидком состоянии с последующим охлаждением. Эта путаница в классификации объясняется тем, что в таких материалах микроскопическая разница в расположении атомов неожиданно приводит к заметным макроскопическим эффектам в проявлении упругих свойств. С формальной точки зрения такие сплавы, конечно, следует относить к НТ-материалам, например, к композитам с нанокристаллитами, нановолокнами или нановключениями и т.п. Первые эксперименты с модельными ударниками из аморфных материалов продемонстрировали, что в них также проявляются признаки локализованного сдвига вещества.

Еще один путь повышения характеристик ударников с использованием НТ основан на процессе так называемого горячего изостатического прессования, позволяющего получать заданную форму из объемной смеси нанокристаллических порошков исходных металлов или из сплавов. Интересно, что и в этом случае изготавливаемые материалы проявляют признаки описанного выше сдвига или "течения" твердого вещества, в результате чего кинетическая энергия, которую необходимо придать сердечнику для пробивания стандартных прокатных броневых листов, оказывается примерно на 6% ниже, чем при экспериментах с обычными ударниками из сплавов вольфрама. Таким образом, обе разновидности интересующего нас материала (аморфное стекло и вольфрамовый сплав с нанокристаллитами) являются достаточно перспективными для замены используемых сейчас в ударных бронебойных снарядах сердечников из сплава вольфрам/уран. Важность или необходимость такой замены обусловлена не столько повышением характеристик оружия и т.п., сколько общественно-политическим выигрышем вследствие отказа от использования обедненного урана. Дело в том, что широкая общественность болезненно воспринимает любое упоминание слова "уран" (безотносительно к виду его изотопов, степени обогащения и т.п.), считая его источником повышенной опасности. Дальнейшие разработки сделают такую замену реальной, а возможно, даже позволят дополнительно повысить пробивную способность бронебойных снарядов примерно на 20%.

Принципиально иной путь использования НТ для повышения пробивной эффективности бронебойных снарядов связан с использованием взрывчатых зарядов заданной формы. В снарядах такого типа металлические наночастицы могут использоваться в конической обкладке, которая при ударе и взрыве трансформируется, создавая высокотемпературную реактивную струю. Кроме этого, некоторого улучшения конструкции снарядов следует ожидать, естественно, и от использования новых взрывчатых веществ, производимых на основе НТ.

Современные ракеты среднего класса "поверхность/поверхность" с дальностью полета несколько сот километров имеют обычно длину более 10 м, а их боеголовка обычно весит около 1 т. Внедрение НТ в производство оружия этого класса обещает (при сохранении веса боеголовки) некоторое сокращение общего веса и размеров прежде всего за счет использования более легких конструкционных



материалов, горючего и т.п. Существенного повышения эффективности в этом классе вооружений можно достигнуть лишь при значительном увеличении точности наведения, так как это позволит заметно снизить вес боезаряда и, соответственно, уменьшить вес, размеры и стоимость ракетной установки в целом (например, сократить ее длину до нескольких метров). В связи с этим стоит упомянуть, что в документах Научно-технического управления военно-воздушных сил США уже упоминается вероятность миниатюризации "межконтинентальных тактических баллистических ракет".

Обычные ракеты ближнего действия, к которым можно отнести и широко распространенные артиллерийские и зенитные ракетные установки, как правило, имеют длину в несколько метров и заряд весом в несколько десятков килограмм. Повышение точности систем наведения в устройствах такого типа также должно способствовать значительному сокращению их размеров и веса, поскольку позволит поражать намеченные цели с меньшей затратой общей энергии. Современные переносные ракетные системы, обозначаемые аббревиатурой MANPADS (Man-portable air-defense systems) и включающие в себя переносные зенитные комплексы, сейчас имеют длину около 1,5 м, диаметр около 0,15 м и вес около 20 кг, но в будущем можно ожидать, что их размеры снизятся примерно в три раза и они окажутся способными поражать даже заданные конкретные точки в конструкции заранее определенных воздушных целей, например, смогут точно попадать в двигательные установки самолетов, вертолетов и т.п.

С другой стороны, развитие НТ и микросистемной техники позволяет задуматься о возможности создания "крошечных" ракет с диаметром несколько миллиметров, несущих, возможно, лишь граммы взрывчатки, при радиусе действия в десятки или сотни метров. Разумеется, такие ракеты будут иметь очень небольшую кинетическую энергию и очень маленькие боеголовки, однако и такая убойная сила может оказаться вполне достаточной, например, для убийства солдата противника. Кстати, наведение микроснарядов можно запрограммировать таким образом, чтобы их попадание вызывало не смерть, а тяжелые повреждения, связанные с ранениями, обильным кровотечением и т.п. Сверхмалые ракеты указанного типа могут быть очень легкими, поскольку будут изготавливаться без применения металлов, и даже могут быть включены в боевое снаряжение пехотинца MANPADS в качестве небольших безоткатных типов ору-

жия. Пока остается совершенно неясным, будут ли такие миниракеты представлять хоть какую-нибудь ценность в качестве реального оружия на поле боя (речь, естественно, не идет о солдатах войск специального назначения и т.п.), но сама возможность их создания, безусловно, заслуживает внимания и интереса.

Разумеется, НТ найдут применение во многих принципиально новых системах оружия, например в разрабатываемых уже десятилетиями разнообразных устройствах электромагнитного ускорения пуль и снарядов. Известно, что в обычных системах огнестрельного оружия скорость вылета снаряда из ствола определяется давлением горячих газов и ограничена скоростью звука в соответствующих средах (предел составляет около 2 км/с). Электромагнитное ускорение снарядов не связано с этим принципиальным ограничением, что делает его чрезвычайно перспективным, хотя и очень сложным технически, направлением развития исследований. Основная проблема сводится к тому, что, поскольку аэродинамическое сопротивление возрастает пропорционально квадрату скорости снаряда, электромагнитные "орудия" представляются особо эффективными лишь при использовании в верхних слоях атмосферы или в космосе. Однако, в принципе, ничто не мешает электромагнитным устройствам придавать снарядам значительно более высокую кинетическую энергию (и соответственно, более высокую проникающую способность) по сравнению с традиционными артиллерийскими системами.

Пока трудно определить, насколько эффективным окажется применение НТ в производстве электромагнитных пушек, поскольку проблема в целом является комплексной. Она включает в себя разработки электрических или иных энергонакопителей, способных к импульсной разрядке, в том числе, например, использование сверхмощных механических маховиков, производство специальных материалов для артиллерийских стволов и снарядов, особых систем наведения и т.п. Общая сложность проблемы не позволяет сейчас даже приблизительно оценивать время возможной реализации многих связанных с ней технических идей и уже имеющихся разработок.

НТ могут, очевидно, широко использоваться при разработках многих нетрадиционных видов вооружений, особенно связанных с производством новых источников энергии, новых материалов и т.д., включая микроволновые устройства и некоторые другие виды так называемого нелетального оружия. ■