«Алмаз ТМ-001» новейшая разработка НИИ Точного Машиностроения
Многофункциональная установка для выращивания углеродных нанотрубок и алмазных плёнок



Многофункциональный PECVD комплекс предоставляет Центрам-разработчикам новейших наноприборов уникальные возможности для создания технологических процессов:

- Выращивание углеродных нанотрубок и нановолокон, в том числе ориентированных, на каталитических слоях (Co, Fe, Ni и др.).
- Осаждение алмазных пленок (включая легированные) на кремневые, сапфировые, поликоровые и другие подложки, с диаметром до 100 мм.

Комплекс автоматизирован, обеспечивает прецизионное регулирование и построен по модульному принципу, что позволяет Заказчику выбрать нужную ему конфигурацию.

Комплекс содержит:

- Реактор металлический водоохлаждаемый с кварцевой футеровкой и шлюзовой загрузкой.
- Графитовый подложкодержатель с нагревом до 950°С.
- Вакуумную систему с форвакуумными и турбомолекулярным насосами.
- 7-ми канальную газовую систему.
- СВЧ, ВЧ генераторы и источник постоянного смещения.
- 2-х контурную систему гидроохлаждения и систему воздушного охлаждения.
- 2-х уровневую компьютерную систему управления.

ОАО НИИ Точного Машиностроения

ОАО НИИТМ
Россия, 124460 Москва, Зеленоград,
Панфиловский проспект 10

Телефон: +7 (495) 229 7501 +7 (495) 535 1449
Факс: +7 (495) 535 6386
E-mail: info@niitm.ru Web: www.niitm.ru

Мир материалов и технологий

Ю. АЛЬТМАН

Военные нанотехнологии

Возможности применения и превентивного контроля вооружений

Перевод с английского
А.В. Хачояна

Рекомендовано учебно-методическим объединением вузов Российской Федерации по образованию в области радиотехники, электроники, биомедицинской техники и автоматизации в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям 210601 "Нанотехнология в электронике" и 210602 "Наноматериалы" направления подготовки 210600 "Нанотехнология" и по специальностям 210104 "Микроэлектроника и твердотельная электроника" и 210108 "Микросистемная техника" направления подготовки 210100 "Электроника и микроэлектроника"

ТЕХНОСФЕРА
Москва
2006

Рецензенты:

Московский государственный институт стали и сплавов (технологический университет):
***М.В. Астахов**, д.х.н., профессор, заведующий кафедрой физической химии*

Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (технический университет):
***П.П. Мальцев**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой микросистемной техники*

Альтман Ю.

Военные нанотехнологии

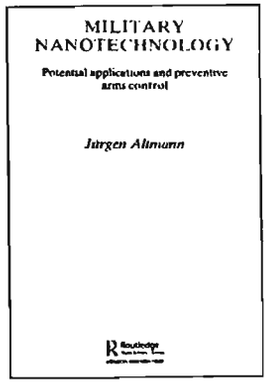
Возможности применения и превентивного контроля вооружений

Москва:

Техносфера, 2006. – 424с. ISBN 5-94836-096-2

Книга является первым систематическим обзором потенциальных военных приложений нанотехнологий. В ближайшие 10 - 20 лет могут быть созданы сверхмалые компьютеры, более легкие и прочные материалы, новые типы оружия и даже имплантаты, вводимые в организм военнослужащих. Перспективы военных нанотехнологий рассматриваются прежде всего с точки зрения международной безопасности и предотвращения новой гонки вооружений.

Монография полезна для ученых, инженеров и преподавателей высшей школы, студентов и аспирантов, бакалавров и магистров, специализирующихся в области нанотехнологии и наноматериалов, микро- и наносистемной техники.



© 2006, Jürgen Altmann
All Rights Reserved
Authorised translation from the English language edition published by Routledge, a member of the Taylor & Francis Group
© 2006, ЗАО "РИЦ "Техносфера", перевод на русский язык, оригинал-макет, оформление, дополнение

ISBN 5-94836-096-2
ISBN 0-415-37102-3 (англ.)

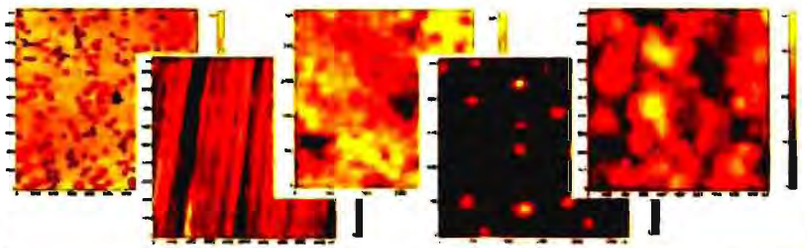
ФГУП «Научно-исследовательский институт вакуумной техники им. С. А. Векшинского»

ЛАБОРАТОРИЯ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ
ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ
В ОБЛАСТИ ТОПОГРАФИИ ПОВЕРХНОСТИ

Аналитическое оборудование:
- сканирующие зондовые микроскопы «ФемтоСкан» и СММ-2000;
- «Лабораторная установка для исследований микропористости поверхности сорбентов и геттеров»;
- микрозондовая приставка СТМ-НТ-1.

Возможности оборудования:
- исследование как проводящих (в режиме СТМ), так и непроводящих (в режиме АСМ) образцов на размерах от 50x50 мкм до 0,05x0,05 мкм, получение изображений поверхности; снятие характеристик F(z), It(z), It(U), z(t).

Возможности по обработке изображений поверхности:
- построение 3D-изображений; проведение сечений;
- определение параметров шероховатости;
- построение гистограмм распределения по высоте; определение площади участка поверхности;
- построение изолиний; измерение расстояний; углов; длин протяженных выборочных объектов;
- Фурье-анализ; корреляционный и автокорреляционный анализ; фрактальный анализ;
- анализ объектов на поверхности.



ФГУП «НИИВТ им. С. А. Векшинского»
Россия, Москва, 117105, Нагорный проезд, д.7,
тел./факс +7 495 123 43 08 www.niivt.ru

Содержание

Военные нанотехнологии 15
Список англоязычных сокращений 17
Предисловие к американскому изданию 21
Предисловие к российскому изданию 22
Предисловие редактора и переводчика 23
Глава 1. Введение 27
1.1. Нанотехнологии – «следующая промышленная революция» ... 27
1.2. Содержание и структура предлагаемой книги 28
1.3. Некоторые общие сведения об истории НТ 30
1.4. Перспективы и опасности развития НТ 31
1.4.1. Очевидные преимущества применения НТ 31
1.4.2. Опасности, связанные с развитием НТ 32
1.4.3. Опасности, связанные с развитием молекулярных нанотехнологий 35
1.5. Ранние публикации о возможных военных применениях нанотехнологии 37
1.5.1. Публикации Э. Дрекслера (1981–1991 годы) 38
1.5.2. Сценарий Д. Джеремия (1995 год) 40
1.5.3. Сценарий М. Габрада (1997 год) 40
1.5.4. Прогноз Л. Хэнли (1999 год) 42
1.5.5. Прогноз Б. Джоя (2000 год) 43
1.5.6. Основные установки и предложения Института прогнозов (2000 год) 44
1.5.7. Прогноз С. Метца (2000 год) 46
1.5.8. Обзор прогнозов в докладах семинара по проблемам ННИ (2000 – 2001 годы) 46
1.5.9. Публикация Министерства обороны Великобритании 2001 года 49
1.5.10. Прогнозы Конференции по конвергенции технологий (2001–2002 годы) 51
1.5.11. Обзорная статья Петерсена и Эгана 2002 года 52
1.5.12. Доклад Департамента науки и технологии военно-воздушных сил США 2002 года 53
1.5.13. Статьи С. Ховарда 2002 года 54
1.5.14. Статья А. Гспонера 2002 года 56



Одно из ведущих российских предприятий в области разработки и производства
электромагнитных компонентов радиоэлектронной аппаратуры.
Разработка, производство, поставка, электромагнитных компонентов:
- магнитопроводы из традиционных, аморфных и нанокристаллических сплавов;
- импульсные трансформаторы;
- блоки трансформаторов;
- трансформаторы питания;
- дроссели различного назначения;
- магнитные элементы для систем телекоммуникаций;
- компоненты по требованию заказчика.

Ул. А. Невского, 10, г. Боровичи
Телефакс: (81664) 44284, 44235 Телефон: (81664)44288, 21014
E-mail:amotek1999@mail.ru, www.mstator.com , www.mstator.ru

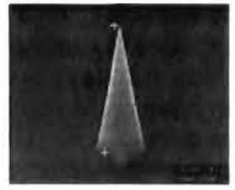
Глава 2. Общий обзор развития нанотехнологии 57
2.1. Общие сведения 57
2.1.1. Определения используемых понятий и величин 57
2.1.2. Восходящие и нисходящие производства в нанотехнологии 59
2.1.3. От микроэлектроники к наноэлектронике 61
2.1.4. Новые физические эффекты и новые свойства вещества в нанометрическом масштабе 63
2.1.5. Разнообразные применения углеродных нанотрубок 64
2.2. Молекулярные НТ 67
2.2.1. Ассемблеры и молекулярные НТ 67
2.2.2. Другие концепции, относящиеся к молекулярным нанотехнологиям 71
2.2.3. Молекулярные НТ и фундаментальные науки 74
2.3. Конвергенция (или возможное слияние) нано-, био-, информационных и когнитивных наук и технологий 78
2.4. Направления развития нанотехнологии 80
2.5. Нанотехнологические исследования и внедрение их результатов 83
2.6. Ожидаемый объем рынка НТ 87

Глава 3. Общая характеристика военных разработок в области нанотехнологий 88
3.1. Нанотехнологические разработки США 88
3.1.1. Финансирование военных исследований и разработок в рамках ННИ 89
3.1.2. Финансирование нанотехнологических НИОКР Управлением перспективных военно-исследовательских проектов (DARPA) 93
3.1.3. НИОКР в военно-исследовательских лабораториях Армии США 107
3.1.4. НИОКР в Национальных атомных лабораториях США .. 115
3.1.5. Мультидисциплинарные университетские исследования военных приложений нанотехнологии, проводимые по инициативе Министерства обороны 117
3.1.6. Институт армейской нанотехнологии 118
3.1.7. Инновационный центр оборонных НТ 127
3.1.8. Организация внедрения результатов НИОКР 128
3.2. Исследования по военным нанотехнологиям в других странах 129
3.2.1. Федеративная Республика Германия 129

ФГУП "НИИ физических проблем им. Ф. В. Лукина"

КАНТИЛЕВЕРЫ:
чувствительные элементы для сканирующей зондовой микроскопии

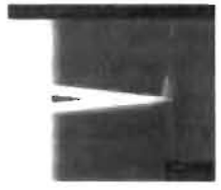
– 5 лет производства и поставок кантилеверов – Номенклатура – более 50 наименований
– Объём поставок 60-100 тыс. шт. в год – Выполнение специальных заказов
– Качество на мировом уровне – Разработка новых типов


Типичный вид иглы кантилевера


Кончик иглы кантилевера. Радиус скругления острия <10нм (на пределе разрешения растрового электронного микроскопа)


Игла кантилевера на краю консоли


Игла, консоль и кристалл


Кантилеверы с треугольной консолью


Четырёхконсольный кантилевер

Основные характеристики кантилеверов

Кристалл: длина × ширина 3,6 x 1,6 ± 0,1 мм; толщина 350 ÷ 450 мкм
Консоль: длина мкм 100 ± 5, 130, 250, 350; толщина мкм 1; 2 ширина мкм 35 ± 3; резонансная частота кГц 10; 20; 150; 250
Игла: угол при вершине °, ≤ 22; высота, мкм ≥ 7; радиус скругления острия: категория "Super", нм ≤ 10; категория "Standard", нм ≤ 25

Типы и варианты

– Контактные
– Бесконтактные
– "Super"
– "Standard"
– Двухконсольные
– Одноконсольные длинные
– Одноконсольные короткие
– Прямоугольная консоль
– Треугольная консоль
– Без покрытия
– С покрытием: Pt, W_2C, TiN, Au, CoNi, Co-Cr, FeNi
– РЭМ изображения иглы

Подробности (прайс-листы, параметры, контакты):
124460, Москва, Зеленоград пр. 4806, д. 6
www.niifp.ru shokin@niifp.ru 531-02-76

3.2.2. Великобритания 130
3.2.3. Военные нанотехнологические разработки в других странах Западной Европы, Евросоюза и НАТО 132
3.2.4. Российская Федерация 133
3.2.5. Китай 134
3.2.6. Другие страны 135
3.3. Комментарии к общей картине финансирования НИОКР в области военных нанотехнологий 136
3.4. Возможно ли возникновение гонки вооружений в области НТ вследствие неправильной оценки ситуации? 138

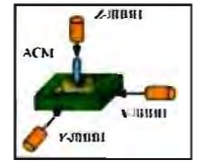
Глава 4. Потенциальные возможности военных применений нанотехнологии 141
4.1. Военные приложения НТ 141
4.1.1. Электроника, фотоника, магнитные материалы 143
4.1.2. Компьютеры и коммуникационные устройства 146
4.1.3. Программное обеспечение и искусственный интеллект . 149
4.1.4. Материалы 151
4.1.5. Источники и аккумуляторы энергии 155
4.1.6. Реактивные двигатели 157
4.1.7. Транспортные средства 159
4.1.8. Ракетные топлива и взрывчатые вещества 160
4.1.9. Камуфляж и средства маскировки 162
4.1.10. Распределенные датчики 163
4.1.11. Броня и средства защиты 167
4.1.12. Обычные виды вооружений 168
4.1.13. Индивидуальные системы военного назначения 173
4.1.14. Имплантируемые системы, регулирование жизнедеятельности человеческого организма 175
4.1.15. Автономные и беспилотные системы 181
4.1.16. Мини- и микроботы 185
4.1.17. Биотехнические гибридные устройства 188
4.1.18. Миниатюрные космические спутники и средства их запуска 191
4.1.19. Ядерное оружие 194
4.1.20. Химическое оружие 200
4.1.21. Биологическое оружие 202
4.1.22. Защита от химического и биологического оружия 205
4.2. Краткий обзор описанных военных приложений нанотехнологии 207

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ПО ИЗУЧЕНИЮ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ И ВАКУУМА

ЭТАЛОННАЯ 3D ЛАЗЕРНАЯ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЙ НАНОПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Эталонная система на основе атомно-силового микроскопа (АСМ) и лазерных интерферометрических измерителей наноперемещений (ЛИИН) предназначена для измерения нанорельефа поверхности и линейных перемещений по 3-м координатам в микроэлектронике, нанотехнологии и микромеханике, для аттестации мер и стандартных образцов.

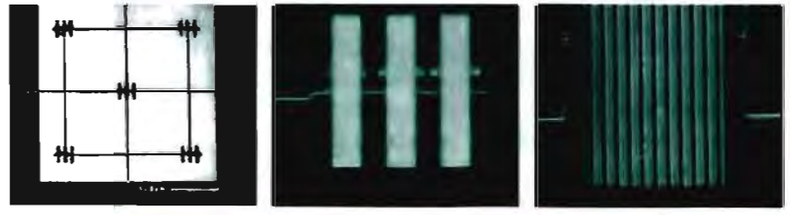
Диапазон измерений
линейных перемещений по координатам:
X и *Y*: 1÷3000 нм; *Z*: 1÷1000 нм
Погрешность измерений по координатам:
X и *Y*: 0,5 нм; *Z*: 0,5÷3 нм



ЛИНЕЙНАЯ МЕРА *МШПС-2.0К*
ЭТАЛОН СРАВНЕНИЯ ДЛЯ РАСТРОВОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ И АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

Шаговая структура, предназначенная для калибровки средств измерений линейных размеров (РЭМ и АСМ), применяемых в микроэлектронике и нанотехнологии.
Калибровка РЭМ: *увеличение, диаметр электронного зонда.*
Калибровка АСМ: *цена деления по X-, Y-, Z-координатам, радиус острия кантилевера, неортогональность Z-сканера.*

	Номинальный размер	Погрешность аттестации
Шаг	2000 нм	±1 нм
Ширина линии	10÷1500 нм	±1 нм
Высота рельефа	100÷1500 нм	±1 %



119421, Москва, ул. Новаторов, д. 40, корп. 1, НИЦПВ
Телефон: (007-495) 935-97-77
E-mail: fgupnicpv@mail.ru; www.nicpv.ru

НИЦПВ

4.3. Потенциальные военные приложения молекулярных нанотехнологий 208
4.3.1. Возможности использования молекулярных ассемблеров (сборщиков) 213
4.3.2. Возможности создания оружия на основе молекулярных НТ 216
4.3.3. Боевые действия против информационных и коммуникационных систем 218
4.3.4. Боевые действия против оборудования и инфраструктуры противника 219
4.3.5. Возможности боевых действий в космическом пространстве 221
4.3.6. Боевые действия в космосе против биосистем и живой силы 223
4.3.7. Молекулярные НТ и оружие массового поражения 224
4.3.8. Использование молекулярных НТ для создания оборонительных средств 227
4.4. Методы обороны от нанотехнологических систем военного назначения 230
Глава 5. Превентивный контроль над вооружениями. Концепции и подходы 232
5.1. Общие проблемы организации превентивного контроля над развитием технологий 232
5.1.1. Ограничение технологий в гражданском секторе экономики 232
5.1.2. Ограничение военных технологий 234
5.1.3. Ограничения технологий и задачи вооруженных сил 237
5.1.4. Превентивные ограничения вооружений после периода холодной войны 239
5.2. Критерии и возможности осуществления превентивного контроля над вооружениями 241
5.3. Разработка превентивных ограничений 243
5.3.1. Учет преимуществ, рисков и стоимости 243
5.3.2. Уровень и специфичность вводимых ограничений 248
5.3.3. Развитие нанотехнологических исследований 250
5.3.4. Формы сотрудничества с гражданским обществом 253
Глава 6. Возможности превентивного контроля над нанотехнологическими видами оружия 257

ЛИТ ФОНОН
ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
НПК "Кварцевые генераторы и резонаторы"



С 1937 года разрабатываем и производим кварцевые генераторы и резонаторы для коммерческих и государственных заказчиков

Высокий научный потенциал и современная технологическая оснащенность позволяют применять достижения нанотехнологий для создания перспективного поколения изделий пьезотехники на отечественной элементной базе



Россия, Москва, 107076, Краснобогатырская ул., 44, стр.1
Тел факс: (495) 964 - 11 - 91, Факс: (495) 269 - 26 - 00
www.phonon.msk.ru
E-mail: genirez@phonon.msk.ru

6.1. Применимость предложенных выше критериев к нанотехнологии ... 257
6.1.1. Критерии группы I ... 259
6.1.2. Критерии группы II ... 264
6.1.3. Критерии группы III ... 271
6.2. Применимость предлагаемых критериев превентивного контроля к молекулярным нанотехнологиям ... 282
6.2.1. Критерии группы I ... 282
6.2.2. Критерии группы II ... 285
6.2.3. Критерии группы III ... 287
6.3. Общая оценка существующей ситуации ... 289
6.4. Возможности превентивного ограничения развития военных НТ ... 291
6.4.1. Распределенные датчики ... 291
6.4.2. Новые типы (модификации) уже известных видов оружия ... 299
6.4.3. Имплантируемые системы – манипуляции с организмом человека ... 301
6.4.4. Вооруженные автономные системы ... 306
6.4.5. Мини/микророботы ... 314
6.4.6. Микроспутники и средства их запуска ... 321
6.4.7. Новые виды химического и биологического оружия ... 323
6.4.8. Молекулярные НТ ... 328
6.5. Мета-аспекты проблемы превентивного контроля вооружений ... 331
Глава 7. Выводы и рекомендации ... 334
7.1. Рекомендации относительно мер превентивного контроля нанотехнологических видов оружия ... 334
7.2. Создание атмосферы взаимного доверия и прозрачности ... 334
7.3. Рекомендации к проведению дальнейших исследований в области разоружения и предотвращения гонки вооружений ... 339
Молекулярные нанотехнологии ... 341
7.4. Заключительные размышления ... 341
7.4.1. Превентивные меры контроля вооружений в области НТ ... 341
7.4.2. Эффективность и эффектность военных приложений НТ ... 343
7.4.3. Перспективы использования нанотехнологии в международных операциях по поддержанию мира ... 344
7.4.4. Ведущая роль США ... 345

Научно-производственное предприятие
ХИМЭКС Лимитед®
Нам 15 лет!
ПРОИЗВОДСТВО И ПОСТАВКА ЭПОКСИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ
ТОРГОВЛЯ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИЕЙ И РЕАКТИВАМИ
ЗАО "ХИМЭКС Лимитед"
РОССИЯ,195030
Санкт-Петербург, ул. Коммуны, 67-Б
Тел:(812)347-78-47-многоканальный
(812)527-17-40,(812)527-17-49
Тел/факс:(812)325-77-76
Факс: (812)325-77-75
E-mail: chimex@mail.wplus.net
http://www.chimexltd.com
Эпоксидно-диановые смолы
Активные разбавители эпоксидных смол
Эпоксидные смолы специального назначения
Эпоксидные модифицированные смолы
Эпоксидные смолы фирмы Kukdo Chemical Co., Ltd
Отвердители, Ускорители отверждения
Композиционные материалы
с заданными свойствами по техническому заданию заказчика

Московские ученые – оборонному комплексу России
- Поглотители и экраны электромагнитных волн на основе наноструктурного ферромагнитного микропровода
- Дисперсно-упрочненные функционально-градиентные материалы для защиты от ударно-пулевого воздействия
- Сверхтвердые наноструктурные покрытия
- Защита лопаток газотурбинного двигателя летательных аппаратов

Новейшие разработки для электронной техники, информационных технологий, приборостроения
Канал обмена информацией "Заказчик-Разработчик"

ФГУП "ЦНИРТИ	ИАЦ "Наноматериалы и Нанотехнологии"	ФГУП "ЦКБ РМ"
им. академика А.И. Берга	МИСиС	
post@cnirti.ru	nano@misis.ru	ckbrm@nm.ru
263-94-04	236-59-26	361-45-04

7.4.5. Влияние НТ на дальнейшее развитие международных отношений 347
Приложение 1. Сводная таблица нанотехнологических разработок, осуществляемых DARPA 349
Приложение 2. Список некоторых книг, специализированных журналов и интернет-источников по нанотехнологии 361
Книги 361
Web-сайты, содержащие информацию о нанотехнологии и нанонауке 362
Специализированные международные журналы 362
Библиография 364
Примечания 386
Послесловие редактора и переводчика 401
Взгляд со стороны на зарубежные программы по военной нанотехнологии 408

Военные нанотехнологии

Книга является первым систематическим и достаточно полным обзором потенциальных военных приложений нанотехнологии (НТ). После введения и исторического обзора читателю предлагается описание современного состояния научно-исследовательских и конструкторских работ (НИОКР) в области возможных военных приложений нанотехнологии. В течение 10–20 лет разработки в области нанотехнологий обещают привести к созданию сверхмалых компьютеров, более легких (и одновременно более прочных) материалов, новых типов боевой техники и оружия и даже имплантантов, вводимых в организм военнослужащих. В книге перспективы военных приложений нанотехнологии рассматриваются прежде всего с точки зрения критериев международной безопасности и предотвращения новой гонки вооружений. Другой сквозной темой выступает влияние новых технологий на соблюдение существующих законов гуманного проведения военных действий, а также сохранение общечеловеческих ценностей и социальных структур.

Хотя некоторые из предполагаемых приложений (например, новые типы датчиков, регистрирующих применение биологического оружия и т.п.) могут оказаться очень полезными для борьбы с террористами или контроля над выполнением условий международных соглашений по разоружению, однако большинство военных разработок в области нанотехнологии является весьма опасным. К таким приложениям можно, например, сразу отнести возможности создания оружия из не содержащих металл материалов, производство микроракет и упомянутых имплантантов. В книге оцениваются возможности превентивного ограничения таких потенциально опасных приложений нанотехнологии с одновременным учетом важности развития науки и техники для гражданского общества и существующих международных условий выработки таких ограничений и проверки их исполнения.

Книга предназначена для студентов, которые занимаются исследованиями стратегии международных отношений и безопасности, однако ее с интересом прочтут и специалисты по военным технологиям, особенно те из них, кто связан с развитием химического и биологического оружия.

Сведения об авторе

Юрген Альтман имеет докторскую степень по физике и является признанным экспертом в области разоружения и контроля над вооружениями. Начиная с 1985 года он занимается исследованиями по обеспечению эффективной проверки и контроля международных соглашений по разоружению и проведению различных миротворческих операций, особенно связанных с новейшими военными технологиями, в частности с использованием акустических видов оружия и так называемой микросистемной техники.

Список англоязычных сокращений

ABM	Antiballistic Missile (System)
AFM	Atomic force microscope
AFOSR	Air Force Office of Scientific Research (USA)
AFRL	Air Force Research Laboratory (USA)
AI	Artificial intelligence
ARO	Army Research Office (USA)
ARL	Army Research Laboratory (USA)
ASIC	Application-specific integrated circuit
ATP	Adenosine triphosphate
AVT	Applied Vehicle Technology Panel of NATO RTO
BICC	Bonn International Center for Conversion
BMBF	Bundesministerium fur Bildung und Forschung (Federal Ministry of Education and Research, Germany)
BMDO	Ballistic Missile Defense Organization (USA)
B(T)WC	Biological (and Toxin) Weapons Convention
CBRE	Chemical-Biological-Radiological-Explosive
CBW	Chemical/biological warfare
CEA	Commissariat a l'Energie Atomique (France)
CFE	Conventional Armed Forces in Europe (Treaty)
CMOS	Complementary metal-oxide semiconductor
CNID	Center for Nanoscale Innovation for Defense (Univ. of California, USA)
CNT	Carbon nanotube
CSBM	Confidence and security building measures
CTBTO	Comprehensive Test Ban Treaty Organization
CWC	Chemical Weapons Convention
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency (USA)
DDT	Dichlorodiphenyltrichloroethane
DERA	Defence Evaluation and Research Agency (UK, formerly)

DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft (German Research Foundation)
DGA	Delegation Generale pour rArmement (France)
DNA	Deoxyribonucleic acid
DoC	Department of Commerce (USA)
DoD	Department of Defense (USA)
DoE	Department of Energy (USA)
DRAM	Dynamic random-access memory
DSF	Deutsche Stiftung Friedensforschung (German Foundation for Peace Research)
DSTO	Defence Science and Technology Organisation (Australia)
DUSD (R)	Deputy Undersecretary of Defense for Research (USA)
EDIG	European Defence Industry Group
EM	Electromagnetism/ic
EUCLID	European Cooperation for the Long term In Defence
FOI	Totalforsvarets Forskningsinstitut (Swedish Defence Research Agency)
FONAS	Forschungsverbund Naturwissenschaft, Abriistung und internationale Sicherheit (Germany)
FY	Fiscal year
GMR	Giant magnetoresistance
GNR	Genetics, nanotechnology and robotics
GPS	Global Positioning System
HEMT	High electron mobility transistor
IBMT	Fraunhofer-Institut fur Biomedizinische Technik (Germany)
ICRC	International Committee of the Red Cross
IR	Infrared
IRC	Interdisciplinary Research Centre
ISN	Institute for Soldier Nanotechnologies (MIT. USA)
ITRS	International Technology Roadmap for Semiconductors
LANL	Los Alamos National Laboratory (USA)
LLNL	Lawrence Livermore National Laboratory (USA)
MANPADS	Man-portable air defence system

MEMS	Micro-electromechanical system
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MNT	Molecular nanotechnology
MoD	Ministry of Defence (UK)
MPU	Microprocessor unit
MST	Microsystems technology
NASA	National Air and Space Agency (USA)
NATO	North-Atlantic Treaty Organization
NBIC	Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science
NEMS	Nano-electro-mechanical system
NIF	National Ignition Facility
NIH	National Institutes of Health (USA)
NIST	National Institute of Standards and Technology (USA)
NO	Nitrogen monoxide
NNI	National Nanotechnology Initiative (USA)
NRL	Naval Research Laboratory (USA)
NSET	Interagency Subcommittee on Nanoscale Science, Engineering and Technology (USA)
NSF	National Science Foundation (USA)
NSOM	Near-field scanning optical microscopy
NT	Nanotechnology/ies
ONR	Office of Naval Research (USA)
OSCE	Organization for Security and Co-operation in Europe
OTA	Office of Technology Assessment (USA)
PAL	Permissive action link
PBG	Photonic band gap
PC	Personal computer
PRIF	Peace Research Institute Frankfurt (Germany)
RAM	Random-access memory
RASCAL	Responsive Access, Small Cargo, Affordable Launch
R&D	Research and development
RDT&E	Research, development, testing and evaluation

RTO	Research and Technology Organization of NATO
SI	Systeme International d'Unites
SNL	Sandia National Laboratories (USA)
SPAWN	Satellite Protection and Warning
STM	Scanning tunnelling microscope
TAB	Biiro fur Technikfolgen-Abschatzung beim Deutschen Bundestag (Germany)
TACOM-ARDEC	Tank-automotive and Armaments Command - Army Research, Development and Engineering Center (USA)
UAV	Uninhabited air vehicle
UC	University of California (USA)
UHF	Ultra-high frequency
UK	United Kingdom
UN(O)	United Nations (Organization)

Предисловие к американскому изданию

Эта работа выполнена в Отделении экспериментальной физики III Дортмундского университета. Я хочу особо поблагодарить проф. Дитера Зутера за принятие проекта и постоянную поддержку, включая замечания по черновому варианту книги. В начальный период (февраль 2002 – апрель 2003 года) выполнение проекта было финансово поддержано Германским фондом исследований в области миротворчества (German Foundation for Peace Research, DSF), которому я глубоко благодарен не только за финансовую помощь, но и за эффективное и весьма полезное административное сотрудничество.

Позднее работа осуществлялась в рамках объединенного германского проекта по превентивному контролю вооружений (PRK), осуществляемому организацией FONAS (Forschungsverbund Naturwissenschaft, Abrustung und internationale Sicherheit), занимающейся проблемами исследований, разоружения и международной безопасности.

По ходу работы мне пришлось многократно встречаться и беседовать по телефону с многими учеными из различных организаций, из которых хочется особо выделить Институт биомедицинских исследований им. Фраунгофера (IBMT) и CeNTech в Мюнстере.

Мне также хочется поблагодарить Центр по международным переговорам в Бонне, где я занимался проблемой возможного слияния нано-, био-, информационных технологий и когнитивных наук, о которой неоднократно упоминается в книге. Эта работа на половинной ставке (с августа по декабрь 2003 года) дала мне возможность продолжать написание книги.

Я благодарю Марка А. Габрада за полезные замечания по многим вопросам, Готца Нейнека за комментарии к разделам по превентивному контролю вооружений, а также Катри Никсдорф и Яна ван Акена за комментарии к разделам, посвященным химическому и биологическому оружию. Выражаю свою признательность также М. Меяппану (Исследовательский центр НАСА в Эймсе) и Е. Доунингу (Институт армейских нанотехнологий в Массачусетском технологическом институте) за разрешение воспроизвести рисунки.

В заключение приношу благодарность Стеве Туррингтону за помощь в издании книги.

Дортмунд, апрель 2004 г.
Юрген Альтман

Предисловие к российскому изданию

Почти сразу после выхода английского издания ко мне и издательству пришло предложение из Москвы выпустить русский перевод книги. Я хочу поблагодарить д-ра Арсена В. Хачояна и проф. Ростислава А. Андриевского из Черноголовского научного центра РАН за перевод и редактирование книги. Быстрое издание перевода не позволяет обновить текст, так что содержание отражает состояние нанотехнологии на момент завершения работы над английским текстом (апрель 2004 года). Развитие нанотехнологии имеет глобальное значение и требует серьезных международных усилий для предотвращения опасных военных приложений, поэтому я очень рад, что изложенные в книге факты и соображения относительно превентивных мер ограничения вооружений в этой области станут известны широкому кругу российских читателей. Надеюсь, что это будет способствовать прогрессу международных переговоров в области разоружения и превентивного контроля гонки вооружений.

Май 2006 г.
Юрген Альтман

Предисловие редактора и переводчика

Информация в области нанотехнологий сейчас чрезвычайно обширна. За последние годы опубликовано множество книг и даже несколько энциклопедий (см. Приложение 2 и Послесловие). Сейчас практически почти каждый день где-то открывается какая-то конференция, публикуется более 100 научных статей и печатается хотя бы одна монография или сборник по этой тематике. Развитие нанотехнологии дает специалистам по наукометрии уникальный шанс описать очередную научно-техническую революцию. Но даже в этом информационном многообразии предлагаемая книга занимает особое место, поскольку в ней впервые представлено систематическое описание потенциальных военных приложений нанотехнологии и возможностей их превентивного контроля. Тематика книги приобретает особую актуальность и важность по мере того, как с развитием новой науки возрастают и связанные с ней риски и опасения.

Автор книги – физик, доктор Юрген Альтман (Университет Дортмунда, ФРГ) является крупным специалистом в области контроля новейших типов вооружений (особенно микросистемной техники), а сама работа выполнена в рамках проекта, финансируемого Немецким фондом мирных исследований. Сам факт, что первая книга по военным приложениям целого класса новейших технологий написана специалистом по контролю за вооружениями, подчеркивает особую важность проблем разоружения и контроля в современном мире, насыщенном опаснейшими научными достижениями. Книга содержит много конкретных сведений о военных программах, источниках их финансирования и возможных методах превентивного контроля. С научной точки зрения особенно важно, что в ней постоянно подчеркивается ярко выраженный междисциплинарный характер нанотехнологии и то, что (как уже поняли многие ученые, технологи и даже политики) НАНО – это больше, чем только размер!

Даже беглый просмотр оглавления книги дает представление о широком спектре освещаемых вопросов – от описания основ нанотехнологии и ее потенциальных военных приложений до рекомендаций по организации конкретных мер инспекции, связанных с обнаружением возможных опасных новых типов оружия.

Несомненно, представит интерес подробная информация о состо-

янии и финансировании научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок (НИОКР) в Соединенных Штатах (которые сейчас выступают почти единоличным лидером в области военных нанотехнологий). Российскому читателю будет полезно ознакомиться с организацией этих работ Правительством и Министерством обороны США, постоянно привлекающими к исследованиям и внедрению других участников: национальные атомные лаборатории, университеты, промышленные круги. В своей совокупности приводимые данные раньше проходили бы с грифом «classified» (примерно соответствующим нашему грифу «секретно»), хотя, возможно, американцы публикуют их с целью демонстрации своего лидерства, а также получения от Конгресса США еще больших ассигнований.

Важно отметить, что в поле зрения автора постоянно попадают не только реализованные к настоящему времени нанотехнологические разработки, но и весьма перспективные, но пока не осуществленные проекты (например, молекулярная сборка с помощью нанороботов, возможности использования наноматериалов в космических проектах и т.п.). Уместно вспомнить предвидение Р. Фейнмана о возможностях молекулярной архитектуры (1959), что подтвердилось через 30 лет в опытах с применением сканирующих туннельных микроскопов. За последний год некоторые из проектов, упоминаемые в книге с использованием прилагательных типа «фантастические», неожиданно стали все чаще упоминаться в широкой прессе в качестве уже реализуемых («плащи-невидимки» для солдат, беспилотные боевые устройства и т.п.), что явно свидетельствует об их широкой реализации в близком будущем.

С другой стороны, ценность монографии Альтмана, безусловно, связана с научным подходом к проблеме превентивного контроля нанотехнологических исследований, ориентированных на создание новых типов вооружения. Обсуждение проводится не только на основе уже существующих международных соглашений по превентивному контролю над вооружениями, но и с использованием разработанных автором критериев, позволяющих оценивать и выделять наиболее опасные в военном смысле технологии. Речь идет в первую очередь о технологиях, потенциально приводящих к созданию принципиально новых вооружений и дестабилизирующих военное равновесие в мире, что, безусловно, требует развития новых методик контроля и ограничения.

Время покажет, какие из соображений и предупреждений Альтмана окажутся верными, но вполне очевидно, что его монография — добротное описание как военных приложений нанотехнологии, так и возможностей организации эффективных средств международного превентивного контроля над развитием столь опасных технологий. Особо можно подчеркнуть важность не столько ограничения и контроля самих технологий, сколько охраны новейших достижений военных нанотехнологий (включая так называемые технологии двойного назначения), учитывая изощренную агрессивность современного национального и международного терроризма.

Из незначительных недостатков книги можно отметить схематизм и суховатость стиля, а также многочисленные повторы, которые удалось лишь частично преодолеть при переводе. Некоторые добавления и комментарии к тексту читатель найдет в Послесловии. Как и в работе над предыдущей книгой по этой тематике («Нанотехнология в ближайшем десятилетии. Прогноз направления исследований», под ред. М. Роко, Р. Вильямса, А. Аливисатоса. М.: Мир, 2002), многие трудности при переводе были связаны с терминологией. Нанотехнология охватывает весьма обширный круг научных дисциплин, относящихся к самым разным физико-химическим, медицинским, техническим и даже социальным наукам, что весьма затрудняет поиски подходящих русских эквивалентов (эти вопросы затрагиваются отдельно в Послесловии), поэтому в некоторых случаях (в скобках) просто приводятся соответствующие английские термины.

Сказанное выше относится не только к названиям организаций, но и к кодовым обозначениям программ и научных проектов, представляющим собой сложные сочетания разнообразных терминов и понятий (вплоть до мифологических). Смысл названий проектов чаще всего по-настоящему ясен лишь узким специалистам, и мы сохранили исходные названия во избежание путаницы. Автор упоминает названия множества организаций в сокращенном виде. В книге мы старались приводить русские названия организаций, но поскольку они содержатся и в библиографии, после Содержания приводится полный список используемых автором сокращений.

Наконец, следует особо отметить проблему применения единственного и множественного числа при упоминании рассматриваемых технологий. Различные авторы (включая, естественно, и Ю. Альтмана) употребляют бессистемно термины «нанотехнология» и «нанотехнологии», иногда полагая их просто эквивалентными. Считая нанотехнологию единой дисциплиной, мы старались при переводе использовать именно единственное число, однако стоит особо отметить, что проблема не является филологической и надуманной, а

отражает серьезную недостаточность определений в этой бурно развивающейся области исследований и технических приложений. Кстати, автор книги пытается решить эту проблему по-своему, вводя представление о нанотехнологиях в «узком» и «широком» смысле этого термина (см. раздел 3.12 и таблицу Приложения 1).

Мы признательны Ю. Альтману за Предисловие к русскому изданию и надеемся, что его монография будет интересна многим российским читателям, связанным как непосредственно с нанотехнологией, так и с проблемами разоружения, международной безопасности и формированием общественного сознания в вопросах контроля над гонкой вооружений.

Р.А. Андриевский
А.В. Хачоян
Черноголовка, август 2006 г.

ГЛАВА 1

ВВЕДЕНИЕ

После разделов 1.1 и 1.2, в которых содержатся самые общие сведения о проблеме и излагаются цели и структура предлагаемой книги, в разделе 1.3 приводятся краткие сведения по истории нанотехнологий (НТ). Раздел 1.4 посвящен различным опасностям, связанным с развитием НТ, а в разделе 1.5 предлагается краткое описание более ранних работ, посвященных военным приложениям НТ.

1.1. Нанотехнологии – «следующая промышленная революция»[1]

Очень многие специалисты уверены, что в ближайшие десятилетия именно развитие нанотехнологий станет основой грядущей промышленной революции. Нанотехнология позволяет нам осуществлять манипуляции с веществом на уровне точности 1 нанометр (1 нм = 10^{-9} м, одна миллиардная часть метра), что означает возможность управления процессами в атомарном и молекулярном масштабе. На этом уровне размеров стираются границы не только между привычными основными направлениями науки (физика, химия, биология), но даже и между их прикладными или смежными разделами (типа материаловедения, механики, электроники, генетики и нейробиологии). Нанотехнология объединяет в себе самые разнообразные науки и относится (причем существенно и принципиально) к промежуточным областям науки, т.е. по своей сути относится к междисциплинарным исследованиям, объединяющим понятия и подходы многих научных дисциплин. Возможность управления разнообразными характеристиками вещества на нанометровом уровне подводит ученых к необычным сочетаниям миниатюрных компонентов и их использованию даже для имитации некоторых молекулярных процессов, напоминающих жизнедеятельность микробиологических объектов. Развитие НТ обещает огромные перспективы прежде всего в технике

(создание очень прочных и легких материалов, солнечных батарей нового типа, крошечных по размерам компьютеров с исключительно высоким быстродействием и возможностями, микро- и наноинструментов, автономных устройств и роботов различных размеров и т.п.) и в молекулярной биологии (медицинское вмешательство в работу клеток, непосредственная связь электронных устройств с нервной системой и клетками мозга и т.д.). В обозримом будущем ожидается бурный рост производства и рынка нанотехнологических материалов и изделий, вследствие чего многие государства и промышленные корпорации уже начали активно финансировать разнообразные программы по развитию исследований в этой области и организации соответствующих производств.

Некоторые коммерческие товары этого типа уже получили широкое распространение (например, головки магнитных дисков с покрытием нанометровой толщины, наноструктурные катализаторы, косметические товары с использованием наночастиц и т.п.), однако основные «прорывы» на рынке наноизделий еще только намечаются. Независимо от того, удастся ли ученым реализовать свои фантастические замыслы, связанные с созданием так называемых молекулярных ассемблеров (сборщиков) и способных к самовоспроизведению нанороботов (эта концепция получила название молекулярной нанотехнологии), уже сейчас полученные конкретные результаты в области НТ обещают оказать самое серьезное воздействие как на жизнь отдельных людей, так и на развитие всего мирового сообщества.

1.2. Содержание и структура предлагаемой книги

Для развития НТ более чем справедливо известное утверждение, что любое перспективное военное применение новейших технологий таит в себе одновременно также новые проблемы и новые опасности. Автор стремился создать первый глобальный обзор возможных военных применений НТ для создания оружия (и вообще любых, имеющих военное значение систем, созданных с использованием НТ). Кроме этого, в книге также обсуждаются военно-политические проблемы, связанные с возможностью превентивного ограничения таких видов оружия и систем[2]. Книга является продолжением предыдущего исследования автора по проблемам развития так называемых микросистемных технологий МСТ [Altmann, 2001]. Некоторая сжатость изложения обусловлена тем, что НТ развиваются очень быстро

и охватывают весьма широкий круг научных дисциплин и проблем (в результате чего часто почти невозможно описать исследования и разработки с детальной точностью). Читатель вправе рассматривать предлагаемую работу в качестве общего обзора, т.е. основы для дальнейшего подробного анализа состояния НТ в отдельных областях.

Автор занялся исследованием общих проблем развития НТ в 2000–2001 годах (работа по данному проекту началась позднее, в начале 2002 года), исходя из собственных представлений о возможных военных применениях различных НТ. При этом автор опирался в основном на опубликованные в США сведения о разнообразных научно-исследовательских проектах в рассматриваемой области. Считается, что именно Соединенные Штаты являются примером открытости и прозрачности своих военных программ и разработок, хотя, справедливости ради, следует отметить, что эта открытость тоже имеет границы, с чем автор и столкнулся позднее (например, когда программы относились к системам оружия массового поражения).

Книга имеет следующую структуру. В первой главе предлагается общее введение в проблемы НТ и история вопроса, а также рассматриваются перспективы и риски, связанные с потенциальными военно-техническими применениями НТ в различных областях. Вторая глава посвящена обзору состояния исследований НТ и их возможных приложений в различных сферах, а также перспективам развития рынка соответствующих товаров. Специальный раздел (2.2) посвящен так называемым ассемблерам или «молекулярным НТ». В главе 3 описаны уже полученные в США результаты в области развития военных НТ и приведены краткие сведения по некоторым другим странам. В главе 4 описаны потенциальные военные применения НТ, а в главах 5 и 6 обсуждаются концепции превентивного контроля вооружений и их возможного применения к военно-техническим приложениям НТ. В завершающей книгу главе 7 приводятся некоторые рекомендации политического характера относительно рассматриваемых проблем, а также общие соображения и прогнозы, связанные с развитием исследований по НТ.

В Приложении 2 приводится список литературы по общим вопросам НТ, а в Приложении 1 – некоторые сведения о НИОКР в области нанотехнологии, осуществляемых и планируемых Управлением перспективных исследований и разработок Министерства обороны США (DARPA), известным своими крупномасштабными исследованиями и публикующим наиболее информативные материалы по рассматриваемым вопросам.

1.3. Некоторые общие сведения об истории НТ

Человечество «неосознанно» применяло нанотехнологии с незапамятных времен (достаточно вспомнить изготовление чернил в Древнем Китае, использование наночастиц золота для придания окраски знаменитым средневековым витражам и т.д.). Современная наука «добралась» до изучения вещества в нанометровом масштабе только в девятнадцатом столетии, когда были разработаны и экспериментально подтверждены основные идеи атомно-молекулярной теории (строго говоря, это произошло лишь к 1910 году, когда были получены и правильно интерпретированы первые рентгеновские дифракционные изображения кристаллических структур). Следующим важным событием в истории нанонауки стало изобретение просвечивающей электронной микроскопии (30-е годы прошлого столетия), позволяющей получать изображения нанометровых структур. После открытия атомного ядра (1911 год) и элементарных частиц (нейтрон в 1932 году и т.п.) физики вышли даже на рубеж измерения фемтометров (1 фмтм = $= 10^{-15}$ м $= 10^{-6}$ нм), однако в этом масштабе пространственных величин вероятность существования сколь-нибудь устойчивых структур становится очень малой. Еще более сомнительной представлялась идея управления такими структурами (не говоря уже о возможностях технических применений) из-за электростатического отталкивания и квантово-механических эффектов.

Рассматривая нанотехнологию только как возможность манипуляций с веществом в масштабах ниже 100 нм, историю НТ часто начинают отсчитывать от знаменитой речи Р. Фейнмана (эффектно озаглавленной «Внизу полным-полно места. Приглашение в новый мир физики»), где впервые упоминались среди прочего возможности микрозаписи с использованием ионных пучков (шириной всего в несколько нм), создания вычислительных систем из сотни атомов, массового производства микродеталей на миллионах «микроскопических фабрик» и множество других, столь же фантастических перспектив [Feynman, 1959]. С тех пор прошло почти несколько десятилетий, в течение которых технологии использования и обработки вещества на микроскопическом уровне действительно непрерывно развивались и совершенствовались. Очень важным событием стало изобретение сканирующих туннельных микроскопов в 1981 году (позволившее физикам непосредственно наблюдать за поведением отдельных атомов на различных поверхностях), за которым последовало и создание атомно-силовых микроскопов (АСМ), которые через несколько лет создали возможность даже смещать или «двигать» отдельные атомы по поверхности. В начале 80-х годов появились первые статьи и книги Э. Дрекслера [Drexler, 1981, 1986], посвященные молекулярным нанотехнологиям (МНТ), а позднее он основал Институт прогнозов (Форсайт)[3,4], занимающийся проблемами развития НТ. За последнее десятилетие XX века и последующие годы уже были получены чрезвычайно ценные новые результаты во многих отраслях нанонауки и нанотехники, из которых даже трудно выделить наиболее интересные. Особо следует отметить открытие углеродных нанотрубок и разработку их применения в самых разнообразных системах. Уже сейчас можно серьезно говорить о создании на этой основе элементов транзисторов, возможности построения из молекул ДНК кубических и других трехмерных структур и использовании отдельных молекул в качестве электронных переключателей. Конструируются неорганические структуры в виде двигателя (приводимого в действие «биомолекулярным мотором»), реализуются вычислительные процессы в молекулярных системах (принцип действия которых напоминает работу механической планетарной передачи), исследуется движение молекул кинезина в нанотрубках и т.п.[5] Эти работы не только имеют огромное теоретическое значение, но и открывают широкий простор для практических применений, в связи с чем уже к концу 90-х годов почти все развитые страны начали щедро финансировать научно-исследовательские работы в области нанотехнологии. Общая тенденция была подтверждена и укреплена утверждением в 2000 году известной Национальной нанотехнологической инициативы (ННИ) Правительством США, примеру которых последовали и правительства многих других стран (см. раздел 2.5).

1.4. Перспективы и опасности развития НТ

1.4.1. Очевидные преимущества применения НТ

Разумеется, НТ являются исключительно привлекательными с самых разных точек зрения, что было подчеркнуто в публикациях упоминавшегося выше семинара по социальным аспектам ННИ 2000–2001 годов [Roco and Bainbridge, 2001: 3–11; см. также Anton et al., 2001]. Из основных аспектов и приложений НТ, имеющих огромное социальное, финансовое и политическое значение, стоит выделить следующие:

- получение очень легких и очень прочных материалов с заданными свойствами, позволяющими создавать новые устройства и транспортные средства;

- создание миниатюрных и высокоэффективных компьютеров и датчиков;
- производство новых фармацевтических препаратов на основе сочетания биологических и синтетических веществ;
- значительное ускорение процессов секвенирования (имеющих принципиальное значение для развития генной инженерии), создание систем индивидуального лечения, таргетная (целевая) доставка лекарственных препаратов к требуемым органам в организме;
- создание искусственных материалов для диагностики процессов в живых клетках, производство биосовместимых имплантантов;
- создание высокоэффективных систем преобразования солнечной энергии;
- создание высокоэффективных топливных элементов и материалов, позволяющих аккумулировать и удерживать водород;
- получение наноструктурных катализаторов для использования в низкоэнергетических и экологически чистых производствах;
- организация производства светоизлучающих диодов, потребляющих очень небольшое количество электроэнергии;
- разработка простых и дешевых методов очистки и обессоливания воды;
- создание новых сельскохозяйственных препаратов и удобрений, а также методов генетической модификации растений и животных;
- создание небольших по весу космических аппаратов и систем их запуска, создание миниатюрных автоматических космических систем.

Кроме этого, стоит упомянуть и совершенно фантастические перспективы, связанные с возможностью реализации так называемых молекулярных НТ (см. раздел 2.2).

1.4.2. Опасности, связанные с развитием НТ

Разумеется, столь многообещающие НТ (относящиеся к различным областям науки и техники) одновременно несут в себе и серьезные прямые и косвенные опасности, которые могут возникать случайно, по ошибке или в результате намеренных действий. Непосредственную опасность развития и использования НТ можно связать просто с обычным риском при появлении практически любых новых материалов или изделий. Более серьезная проблема современности состоит в непрерывном увеличении объемов производства нановолокон и наночастиц. Свойства таких веществ (точнее говоря, изготовленных

из них частиц) еще недостаточно изучены, и специалисты только приступают к серьезному изучению их воздействия на здоровье человека и окружающую среду. Однако, по предварительно полученным данным, они вовсе не безобидны, поскольку из-за малых размеров способны проникать через клеточные мембраны человеческого организма [ETC, 2003a and refs; Hovard C.V., 2003 and refs; Colvin, 2003; Brumfiel, 2003]. На семинаре NNI 2000–2001 годов, посвященном глобальным и общесоциальным аспектам развития НТ, были отмечены среди прочих следующие опасности и этические проблемы [Roco and Brainbridge, 2001: 13–16; Weil, 2001; Suchman, 2001; Meyer, 2001; Tenner, 2001; см. также Anton et al., 2001]:

- опасность для здоровья персонала, занятого в новых производственных процессах;
- проблемы сохранения окружающей среды, связанные с крупномасштабным производством нанокомпозитных материалов, которые очень плохо поддаются вторичной переработке;
- перестройка промышленных производств, связанная с появлением новых материалов и изделий;
- затоваривание рынка новыми товарами, серьезные потрясения существующей финансово-промышленной системы;
- усиление уровня безработицы, обусловленное появлением лишь небольшого числа рабочих мест, требующих к тому же достаточно высокой квалификации;
- усиление неравенства в доходах и уровне жизни (например, с точки зрения медицинского обслуживания), возникновение своеобразной «нанодискриминации»;
- развитие острых противоречий в области определения прав на интеллектуальную собственность;
- возникновение конфликта интересов в существующих отношениях высших учебных заведений, исследовательских центров и промышленных кругов;
- очевидные риски и опасности генетических манипуляций с растениями, животными и людьми;
- опасности, связанные с новыми методами и материалами имплантации;
- неочевидные проблемы, связанные с возможностями ранней диагностики болезней, для которых пока неизвестны методы лечения;
- опасности, связанные с возможностью скрытого сбора сведений и проведения тайных операций;

- опасности нарушения прав личности и права на защищенность частной жизни (privacy) посредством наблюдения или даже тайного вмешательства в функционирование человеческого организма;
- обострение проблем обеспечения личной безопасности;
- опасность создания «сверхумных» и виртуально невидимых устройств на основе сочетания НТ и разработок в области искусственного интеллекта (ИИ);
- опасности создания наноружия, искусственных вирусов и разнообразных агентов биологического или нервно-паралитического типа;
- необходимость создания систем контроля и слежения за развитием новых технологий (при одновременном ограничении распространения многих конкретных сведений).

На семинаре было также отмечено, что развитие нанотехнологий должно обязательно привести к появлению новых, непредсказуемых проблем как с положительными, так и с отрицательными последствиями. Например, развитие НТ может привести к значительному увеличению продолжительности жизни (что, в свою очередь, вызовет необходимость изменения пенсионного законодательства и т.д.), или широкое использование наночастиц может привести к серьезным биологическим изменениям в окружающей среде (как это имело место с применением ДДТ), исправление последствий которых может оказаться весьма сложной и длительной задачей.

Для учета и предотвращения опасностей семинар рекомендовал начать изучение научных, технологических и социальных последствий нанотехнологий на основе системного и междисциплинарного подхода, уделяя особое внимание научно-социальным аспектам рассматриваемых проблем [Roco and Bainbridge, 2001: 20–24]. Позднее похожие рекомендации были предложены и совместным американо-европейским семинаром по нанотехнологиям [Roco and Tomellini, 2002: 21–24]. Стоит особо отметить, что в обзоре ННИ 2002 года почти нет упоминаний о возможных социальных последствиях самой инициативы или связанных с ней программах финансирования исследований [NNI Committee, 2002: 34, 35, 48, 49]. Попытка обратить внимание общественности на «явную недостаточность числа серьезных научных публикаций по этическим, правовым и социальным аспектам внедрения НТ» была предпринята группой врачей и специалистов по биоэтике [Mnyusiwalla et al., 2003]. Стоит отметить также важную публикацию одного из координаторов ННИ по общим вопросам [Roco, 2003a]. Хотя в ней почти не обсуждаются и не упоминаются возможные социальные последствия военных применений НТ, однако автор уделяет большое внимание международному сотрудничеству в этой области и даже признает, что более четверти исследований по линии ННИ финансируется именно оборонным ведомством США (см. раздел 3.1.1).

Исходя из этих потенциальных опасностей, некоторую обеспокоенность стала проявлять общественность, результатом чего стали публикации Группы ETC [ETC, 2003, 2003a][6] и известной организации Гринпис [Arnall, 2003]. С другой стороны, интерес к последствиям развития НТ начали проявлять и некоторые парламентские и правительственные организации. Например, в Германии предварительное исследование этой проблемы было проведено по инициативе Министерства образования и науки еще в 2000 году [Malanowski, 2001; см. также Dachmann and Zweck, 2001]. Позднее (в 2002–2003 годах) более полное изучение этой проблемы было осуществлено Службой содействия развитию науки Федерального парламента [Paschen et al., 2003][7]. Палата представителей Конгресса США провела слушания по этой проблеме в апреле 2003 года [House, 2003], а в Великобритании документ BRTF в январе 2003 года рекомендовал Правительству проявить большую открытость, организовать публичные дебаты и более строго оценить опасности, связанные с развитием НТ [BRTF, 2003]. В июне 2003 года Отдел науки и технологии Министерства торговли и промышленности Великобритании поручил Королевскому научному обществу и Королевской академии инженерных наук тщательно изучить преимущества и опасности, связанные с применением НТ [Royal, 2003]. Серьезность темы стала очевидной, когда в декабре 2003 года Конгресс США решил основать специальный Американский центр подготовки к нанотехнологии, который должен изучать «...социальные, этические, экологические, образовательные, правовые и прочие проблемы и... подготавливать документы, предупреждающие о возможных последствиях исследований и применений НТ» [Congress, 2003]. Таким образом, можно с уверенностью утверждать, что правительства и парламенты многих стран уже сейчас серьезно озабочены проблемами развития и применения НТ.

1.4.3. Опасности, связанные с развитием молекулярных нанотехнологий

Об основных опасностях и рисках, связанных с развитием так называемых молекулярных нанотехнологий (МНТ), предупреждал еще в

1986 году известный специалист Эрик Дрекслер, который на основе концепции самовоспроизводящихся наноустройств первым упомянул о возможности возникновения ставшей затем знаменитой пресловутой «серой слизи» (grey-goo). Проблема (и возникший на ее основе термин) основана на опасениях Дрекслера и ряда других ученых, что появление на планете «всеядных» наноструктур рано или поздно приведет к тому, что такие структуры начнут «перерабатывать» все органическое вещество на нашей планете. В связи с этими предупреждениями были даже предложены некоторые варианты превентивного ограничения возможностей наноассемблеров [8]. Позднее Институт прогнозов учел эти опасения и опубликовал список принципов и рекомендаций, относящихся к проектированию и созданию самовоспроизводящихся устройств [Foresight, 2000].

Помимо этого, в некоторых публикациях содержались предупреждения и о возможных социальных рисках, связанных с МНТ [CRN, 2003]. В частности, существует опасность крупных экономических потрясений, которые могут стать результатом массового производства дешевых товаров одновременно с резким сокращением занятости (поскольку НТ-производства, по-видимому, будут обходиться почти без участия человека). Проблема связана с развитием ситуации, когда даже дешевые товары, производимые по таким новейшим технологиям, окажутся слишком дорогими для нищего населения, в результате чего возрастет показатель имущественного неравенства, что может привести к серьезным социальным потрясениям. Существует опасность, что повсеместное распространение миниатюрных датчиков в сочетании с появлением сверхмощных компьютеров создаст возможность тотальной слежки за всеми гражданами. Кроме этого, очевидно, что развитие и массовое использование вводимых в организм чипов грозят возможностью полного контроля над физическим и психическим состоянием людей.

Острую полемику и большой интерес вызвали работы известного специалиста в области вычислительной техники Б. Джоя, который в своих предсказаниях сделал попытку объединить в единое целое многие разноплановые опасности развития новейших технологий [B. Joy, 2000] [9]. Исходя из последних достижений генетики, НТ и робототехники, Джой предупреждает об опасности засилья роботов и возможности их массового самовоспроизведения, что грозит человечеству неминуемой гибелью. Он считает, что возникающие технологии являются настолько эффективными и мощными, что человечеству не удастся сдержать их какими-либо «ограничениями», и единственной

возможностью избежать гибели является отказ от опасных технологий и введение запретов на некоторые виды исследований.

В ответ на эти предупреждения специалисты по молекулярным нанотехнологиям (которых уже можно назвать, по современной терминологии, МНТ-сообществом) опубликовали серию работ [см., например, Reynolds, 2002], в которых подчеркивалась опасность запрета и возможного перерегулирования (термин из теории управления) исследований в данной области. Более того, двое представителей МНТ-сообщества даже основали Центр ответственной нанотехнологии, опубликовавший список предполагаемых опасностей и предложений, сводящихся к довольно умеренным ограничениям на исследования [CRN, 2003]. В этой связи можно лишь дополнительно отметить, что основные концепции МНТ-сообщества (бесконечность существования человечества, бессмертие, колонизация человечеством космических просторов и т.п.) представляются одновременно спорными, многообещающими и привлекательными (см. раздел 2.2).

1.5. Ранние публикации о возможных военных применениях нанотехнологии

Нанотехнология явно обладает огромным потенциалом, и перспективы ее военного применения выглядят весьма впечатляюще. Удивительно, что в научной литературе военному использованию НТ до сих пор уделялось очень мало внимания. Стоит отдельно отметить, что сама возможность такого использования не только была осознана, но и прекрасно описана сатирически в произведениях известного польского фантаста Станислава Лема еще в 1983 году [Lem, 1983], многие идеи и сюжеты целых произведений которого были непосредственно почерпнуты из концепции МНТ. Даже после принятия ННИ в Соединенных Штатах, когда связанные с НТ проблемы безопасности и обороны стали обсуждаться на самом высоком уровне, основной упор в публикациях делался на среднесрочные прогнозы развития и наиболее явные революционные последствия использования новых технологий.

В этом разделе книги автор попытался отобрать наиболее характерные и известные публикации весьма общей направленности, относящиеся к проблемам предполагаемых военных применений НТ и возможности контроля над новыми типами вооружений в этой области. Ссылки на более детальные обсуждения технических и военных возможностей применения НТ (например, материалы семинара

Армии США по проблемам «армейской нанотехнологии», US Army Workshop on Nanoscience for the Soldier) можно найти в публикациях [ARO Nanoscience, 2001] [10] и в литературе к главам 3 и 4.

1.5.1. Публикации Э. Дрекслера (1981–1991 годы)

В 1981 году ставший впоследствии весьма известным специалист К. Эрик Дрекслер представил свою концепцию «молекулярного конструирования», но он упомянул потенциальные опасности предлагаемой теории лишь в последней фразе своей первой статьи на эту тему [Drexler, 1981]. В своей более поздней книге, озаглавленной «Машины созидания» (*Engines of Creation*), которая ознакомила широкую общественность с многими идеями НТ и получила широкую известность [Drexler, 1981], он посвятил этим вопросам уже две главы, дав им весьма символичные и характерные заголовки: «Машины уничтожения» и «Стратегия выживания» [Drexler, 1986–1990; главы 11 и 12]. Помимо общих опасностей (упоминавшаяся выше «серая слизь» и вытеснение человеческой расы), он отметил в книге еще одну, а именно – намеренное использование репликаторов и систем с искусственным интеллектом в военных целях. Репликаторы, по мнению Дрекслера, будут предназначаться для массового производства высокотехнологичных видов оружия и ведения возможных микробиологических войн, а системы искусственного интеллекта – для проектирования новых типов вооружений, разработки стратегии и проведения боевых операций. Дрекслер предположил, что после создания так называемых ассемблеров любое государство может очень быстро повысить свою военную мощь и возможности, что может привести к резким и драматическим изменениям[11]. Поскольку для производства репликаторов требуется лишь очень небольшое количество вещества обычного типа (не нужны редкие изотопы и т.п.), их появление может стать гораздо более опасным для истории человечества, чем создание атомной бомбы. С другой стороны, такие наномашины нередко могут оказаться гораздо эффективнее бомб или оружия, например при создании деспотических форм правления (организация слежки за населением, контроль сознания и тела и т.п.). Для борьбы с надвигающейся опасностью Дрекслер даже предложил, чтобы ведущие державы приняли меры по ограничению их развития, например посредством запрета на разработку и производство, засекречивание связанной с этим информации и т.п. В длительной перспективе, однако, вырисовывается и картина организации «активной защиты», т. е. создание автоматических оборонительных наномашин, которые будут бороться с репликаторами всех видов. В книгах Дрекслера, написанных в годы холодной войны, содержится даже призыв к сотрудничеству в этой области с Советским Союзом на этой основе (правда, при технологическом превосходстве демократических союзников). По всей видимости, традиционные методы контроля над вооружениями, основанные на проверяемых ограничениях их качества и количества, явно не имеют смысла при использовании НТ-видов оружия. Преимуществом упоминавшейся выше «активной защиты» выступает то, что ее применение обеспечивает оборону, не создавая угрозы противнику.

В своей следующей книге, написанной совместно с С. Петерсоном, Э. Дрекслер вновь посвятил отдельные главы опасности создания МНТ и возможным политическим мерам ее предотвращения [Drexler and Peterson, 1991; главы 12, 13]. Авторы доказывают, что случайные или незапланированные последствия многих разработок в этой области можно предотвратить введением соответствующих мер предосторожности и безопасности, однако ясно, что основные опасности и риски будут связаны, конечно, именно с намеренными действиями или злоупотреблением новых устройств или материалов. В свете зловещей опасности начала новой гонки вооружений в области НТ наиболее привлекательной кажется идея организации эффективной международной службы контроля, однако ее организация, очевидно, является очень непростым и маловероятным событием. Кроме того, организация любой службы контроля требует времени, за которое вполне может быть разработан новый вариант наноружия и т.д. Это обстоятельство является очевидным для большинства авторов, связанных с рассматриваемой проблемой, вследствие чего общие перспективы (независимо от занимаемой авторами позиции) далеки от оптимизма. Международный запрет на проведение исследований вряд ли станет разумным решением проблемы хотя бы потому, что не все государства будут ему подчиняться, в результате чего нанотехнологические исследования будут просто переведены в разряд «секретных» военных разработок. Из пяти описываемых ниже предполагаемых сценариев развития [12] лишь один дает нам шанс избежать следующей катастрофы (или катастрофической гонки вооружений) – он заключается в организации нового типа международного сотрудничества. Такое сотрудничество должно быть основано на демократии, контроле над передачей технологий, доминировании интересов экономического взаимодействия держав над их военным соперничеством, повышенном внимании мирового сообщества к воз-

можным военным угрозам, организации «взаимной инспекции» на основе осуществления совместных научно-исследовательских разработок.

1.5.2. Сценарий Д. Джеремия (1995 год)

Выступая на проводимой Институтом прогнозов IV Конференции по молекулярной нанотехнологии (1995 г.), отставной адмирал Дэвид Д. Джеремия (бывший заместитель командующего Объединенного комитета начальников штабов США) прочитал получивший позднее широкую известность доклад под названием «Нанотехнология и глобальная безопасность» [Jeremiah, 1995]. В своем докладе адмирал перечислил несколько основных причин гипотетических войн будущего (включая этнические конфликты, борьбу за природные ресурсы, проблемы перенаселенности и состояния окружающей среды, миграцию, технологические революции) и подчеркнул возрастающую «военную» роль информации. Он предсказал также некоторые конкретные процессы, связанные с развитием нанотехнологий, – массовое применение микродатчиков, введение в человеческий организм имплантируемых структур, широкое использование роботов и автоматических устройств. Особого внимания заслуживает мысль об использовании в армиях некоторых государств и народов (например, при нехватке в личном составе или при моральной неподготовленности солдат к кровопролитию) боевых роботов-гуманоидов с искусственным интеллектом, создаваемых на основе грядущих достижений НТ. Кроме этого, Джеремия предупредил аудиторию, что последствия возможного ошибочного применения МНТ могут оказаться серьезнее последствий ошибочного применения ядерного оружия, а также критически оценил возможности контроля над созданием новых видов оружия, поскольку официальные международные ограничения обычно создают преимущества для тех стран, которые втайне нарушают эти ограничения.

1.5.3. Сценарий М. Габрада (1997 год)

С еще большим пессимизмом оценил перспективы развития МНТ в 1997 году Марк А. Габрад [Gubrud 1997] [13], который попытался представить последствия появления в современном мире (с его национальными правительствами, постоянно готовящимися к вооруженным конфликтам) самовоспроизводящихся универсальных ассемблеров.

Применение МНТ позволит не только значительно повысить качество обычных видов оружия или создать миниатюрные средства боевого поражения на море, но и очень быстро создать крупномасштабное военное производство любого оружия, включая атомное. Получив столь значительное качественное и количественное превосходство в вооружении над соперниками, можно теоретически даже потребовать разоружения соперников. Для предупреждения такой ситуации страны мира должны разработать программу взаимного контроля, предотвращающую возможность таких неожиданных научно-технических «прорывов» и возникновения новых угроз. Наилучшим выходом для международного сообщества стал бы переход к идеальной экономической системе, т.е. переход к автоматическому производству на основе местных ресурсов, что означало бы также резкое сокращение международной торговли и прекращение борьбы за рынки сбыта. Фактически такой переход просто уничтожит существующую мировую экономическую систему, основанную на представлениях о заработной плате, деятельности транснациональных монополий и наличии мировых рынков почти всех товаров. Такие глобальные изменения могли бы подарить человечеству поистине «золотой век» процветания, но они, к сожалению, остаются мечтами, а существующий мир все больше погружается в хаос вследствие экономической нестабильности, неравенства, нищеты и т.п. Даже между ведущими демократическими государствами все чаще возникает серьезное соперничество из-за новых источников природных ресурсов (например, на дне океанов или в космическом пространстве). Молекулярные нанотехнологии позволят обеспечить эффективную защиту гражданского населения, активную оборону и методы противодействия или защиты от превосходящих сил противника. Например, в качестве средства защиты от очень мощных ядерных бомб МНТ могут позволить быстро организовать создание сотен тысяч или даже миллионов обычных боеголовок.

С другой стороны, возникновение МНТ может способствовать новой гонке вооружений и возрастанию международной напряженности из-за дестабилизации, связанной с преимуществом нанесения первого удара. Новые технологии обещают обеспечить экспоненциальное наращивание объема производства военной продукции (вплоть до почти полного истощения ресурсов) в течение очень короткого промежутка времени (вплоть до дней или даже часов), что вновь возвращает нас к проблеме преимущества стороны, рискнувшей стать инициатором противостояния. Габрад утверждает, что военное лидерство США в этой области не может продолжаться долго, поскольк-

ку другие страны также быстро разовьют необходимую технологическую базу, а прогресс в области разработок искусственного интеллекта (возможно, превосходящего человеческий уровень) приведет к тем же проблемам даже без использования МНТ. Сочетание двух последних факторов может значительно усугубить ситуацию.

Во избежание гонки вооружений в области МНТ, чреватой катастрофическими последствиями, Габрад рекомендует ввести ряд мер международного контроля, в частности, объявить ограничения на массовое производство таких вооружений или подготовки их производства, что требует добровольного согласия государств на «прозрачность» соответствующих исследований. Наиболее важным на сегодняшний день, с точки зрения Габрада, является запрет вывода боевых систем в космическое пространство и продолжение процессов ядерного разоружения в мировом масштабе (вплоть до полного запрета ядерного оружия). Странам и правительствам следует хотя бы частично отказаться от полного суверенитета, т.е. позволить некоторый внешний контроль над своей военной промышленностью и всячески способствовать международному сотрудничеству в этом отношении. В идеале такой контроль должен перерасти в единую глобальную систему всемирной безопасности.

1.5.4. Прогноз Л. Хэнли (1999 год)

В журнале «US Army» Лонни Д. Хэнли опубликовал работу, где предсказал наступление новой военно-технологической революции, основанной на конвергенции или слиянии новейших достижений в области информатики, биологии и обработки материалов [Henley, 1999]. В частности, он писал о процессах молекулярной биологии, приводящих к так называемым «мокрым» НТ, применение которых существенно отличается от «сухих» НТ, предлагаемых многими авторами для создания новых механических (колеса, передачи) и электронных устройств. Хэнли предсказывал, что первые практически ценные военные применения новых технологий появятся примерно через 20 лет, а также выделил наиболее перспективные направления их развития: разработка биологического оружия триггерного действия (смертоносного или выводящего из строя на время); развитие децентрализованных сетей миниатюрных датчиков, вплоть до создания «наблюдающей пыли»; совершенствование систем обработки информации с тем, чтобы их работа напоминала функционирование человеческого мозга; создание целых «флотилий» из очень небольших и дешевых роботов для проведения войсковых операций. На новом, непривычном для военных стратегов «поле боя» (его можно образно назвать миниатюрным или микроскопическим) оборона может оказаться значительно более сложным делом, чем наступление. Например, известно, что разработка новых средств биологического оружия требует в мирное время постоянных и весьма напряженных действий, связанных с противодействием предполагаемым разработкам противника. Аналогично попытка применения в производстве биологических процессов таит в себе «соблазн» использования принципов биологического воспроизводства, что может очень быстро привести к ошибкам и неконтролируемой эволюции продуктов производства (возможно, с самыми неожиданными и нежелательными последствиями!). В своих прогнозах Хэнли не сомневается, что США сохранят за собой лидирующую роль в любой коммерческой или научной деятельности, но предостерегает руководство США от недооценки футуристического прогноза будущих войн.

1.5.5. Прогноз Б. Джоя (2000 год)

В своей часто цитируемой статье «Почему будущее не нуждается в нас?» Б. Джой рассуждает об опасностях, связанных с одновременным и взаимосвязанным развитием генетики, НТ и робототехники, и даже объединяет эти технологии общей аббревиатурой GNR [Joy, 2000]. Ссылаясь на Дрекслера, он упоминает об опасности массового использования в военных и террористических целях НТ-устройств с избирательным действием. Интересными и нетривиальными являются его рассуждения о возможном существенном изменении самого характера войны и средств оружия в будущем. Джой пишет о том, что в XX веке оружие массового поражения (ядерное, биологическое и химическое) носило в основном военный характер и разрабатывалось в правительственных лабораториях, а упоминавшиеся GNR-технологии XXI века будут главным образом являться коммерческими разработками отдельных корпораций. Джой подробно рассматривает историю гонки ядерных вооружений и приводит выдержки из работ разных авторов, считающих, что вероятность выживания человечества в результате развития опасных технологий невелика (30–50 %). Более того, он полагает, что предлагаемая Дрекслером активная защита против опасных репликаторов «является весьма опасной идеей, так как ничто не препятствует развитию в системе защиты аутоиммунитета, что создает новые возможности атаки на биосферу». Анало-

гичные проблемы, по мнению Джоя, должны возникать и при разработке мер защиты или «щита» против новых видов оружия на основе достижений робототехники или генной инженерии, вследствие чего единственной надеждой для США в создавшейся ситуации он считает отказ от разработок бактериологического и химического оружия и заключение серьезных международных соглашений по этому вопросу. Такие соглашения могли бы стать основой для дальнейших переговоров по разоружению (прежде всего, о нераспространении ядерного оружия), а затем привести к отказу от разработок некоторых, наиболее опасных видов GNR-оружия, включая и разработки в коммерческой сфере. Проверка таких соглашений, конечно, является достаточно трудной, но практически разрешимой проблемой (Джой приводил в качестве примера контроль над разработками биологического оружия), так как сложности носят технический характер и связаны с масштабом проверки выполнения ограничений, нарушениями прав частных лиц и прав на интеллектуальную собственность. Ученые и инженеры должны выработать и соблюдать достаточно строгий кодекс профессионального поведения, а также иметь мужество вовремя «бить в набат», т. е. возбуждать общественность, привлекая ее внимание к возникающим проблемам.

1.5.6. Основные установки и предложения Института прогнозов (2000 год)

Институт прогнозов (Foresight Institute, Пало Альто, штат Калифорния)[14], основанный в 1986 году Эриком Дрекслером и его единомышленниками для развития идей МНТ, в своих прогнозах пытается объяснить общественности возможные опасности развития или неправильного использования самовоспроизводящихся систем и призывает разработать средства, сводящие к возможному минимуму вызываемые ими риски и опасности [см. Foresight, 2000; Version 3.7 от 4 июня 2000]. Хотя предложения Института формально относятся к регулированию возникающих проблем на внутригосударственном уровне (т.е. предполагают ряд технических и административных мер для предотвращения развития неконтролируемого «самовоспроизведения» в окружающей среде США), их общий смысл сводится именно к созданию эффективного международного контроля. Тематика публикаций демонстрирует желание использовать молекулярные НТ для организации контроля выполнения уже существующих международных соглашений в области химического, биологического и ядерного

оружия, однако предлагаемые методы и используемые подходы выглядят весьма недалекими и примитивными. Например, авторы считают, что если «эффективность запрещающих договоров достигнет 99,9 %, то именно отнесенные к 0,01 % исключений страны начнут представлять серьезную угрозу экономическому и военному превосходству США и их союзников».

Хотя развитие молекулярных НТ не представляет собой сейчас непосредственную угрозу в каком-то смысле, однако необходимо со всей ясностью указать, что предлагаемый авторами института подход почти очевидно является ущербным в нескольких отношениях. Прежде всего существует опасность, что само упоминание о возможном будущем международном контроле немедленно «подстегнет» все технически развитые страны на внедрение молекулярных НТ в военных целях. При этом следует учитывать, что научно-технические идеи распределены «неравномерно», т.е. многие страны, которые сейчас рассматриваются США в качестве главной военной угрозы, в действительности не являются источниками или обладателями высоких технологий. Далее, не существует методов абсолютной, 100%-й проверки выполнения любых договоренностей, но из этого вовсе не вытекает отказ от любых форм международных договоров и соглашений об ограничении уровня вооружений. Собственно говоря, проблема «адекватной» проверки выполнения условий любых соглашений о разоружении существует уже десятилетиями, и практика показала, что риск «жульничества» все же остается гораздо меньшим, чем опасность развития событий при полном отсутствии соглашений. Уровень контроля может определяться конкретно для каждого вида вооружений или технологий. Разумеется, очень трудно установить какие-то правила проверки для развития молекулярных НТ, но для реального внедрения новых технологий уже можно создать взаимоприемлемую систему контроля. Все сказанное очень похоже на ситуацию, которая когда-то возникла на ранних стадиях развития биологических средств вооружений, поэтому в качестве исходной точки для переговоров и соглашений стоит просто воспользоваться уже существующим протоколом и сводом правил Конвенции об ограничении биологического оружия. Кроме того, относящиеся к Конвенции документы включают сложную систему взаимных прав и обязательств по проверке выполнения условий и защиты связанной с этим конфиденциальной информации, включая контролируемый доступ к данным и т.п. [Feakes and Littlewood, 2002; BWC AHG, 2001].

1.5.7. Прогноз С. Метца (2000 год)

В своем известном обзоре новейших технологий и их военных применений Стивен Метц упомянул общую тенденцию к миниатюризации оборудования и отметил, что нанотехнологии выступают просто в качестве развития микросистемных технологий МСТ [Metz, 2000]. Сочетание НТ и МСТ должно привести к тому, что вместо обычных подслушивающих устройств (называемых электронными «клопами») будут созданы «клопы-роботы», способные проникать во вражескую систему, собирать там требуемую информацию и даже нарушать ее работу в заданный момент времени. Метц цитирует работу Либики [Libicki, 1994] о будущих системах оружия, акцентируя внимание на третьей стадии грядущих войн (красиво названной Либики «битвой огненных муравьев»), когда будут применяться целые «стаи» очень небольших и достаточно простых боевых устройств. Основываясь на прогнозах многих других исследователей в данной области [Commission, 1999; Robotics, 1997; уже упоминавшаяся в разделе 1.5.4 работа Henley, 1999], Метц обсуждает возможности создания новых существ (киборгов) из обычных собак, крыс, насекомых и птиц после имплантации в их организмы датчиков или иных управляющих систем. В далекой перспективе (с развитием и применением дальнейших достижений в МНТ, молекулярной биологии и информатике) этот подход позволит приступить к «выведению» новых пород живых существ, предназначенных для осуществления заданных боевых действий. Разумеется, создание таких биороботов, способных и запрограммированных на убийство людей, повлечет за собой возникновение целого ряда новых задач, связанных со стратегией и реальным осуществлением боевых операций, не говоря уже об этических и моральных аспектах проблемы[15].

1.5.8. Обзор прогнозов в докладах семинара по проблемам ННИ (2000–2001 годы)

В сентябре 2000 года в связи с принятием Национальной инициативы США по НТ был проведен первый из двух семинаров, посвященных обзору возможностей и целей НТ (от проблем медицины, поддержания устойчивого развития и исследований космоса до перспектив выхода коммерческих НТ-изделий на мировые рынки). Для целей национальной обороны семинаром были рекомендованы следующие направления развития и внедрения перспективных приложений нанотехнологии [Roco and Bainbridge, 2001; Ch.2; см. также NNI, 2002: Ch.4]:

1) обеспечение преимущества США в области информационных технологий за счет интенсивного развития электроники;
2) разработка (на основе наноэлектроники) более сложных систем создания виртуальной реальности, позволяющих организовать более гибкую и эффективную программу тренировки персонала;
3) широкое применение автоматики и робототехники в проведении военных действий для снижения риска и потерь в живой силе, а также повышение эффективности использования оборудования и снаряжения;
4) организация производства более удобного (легкого, прочного), эффективного и дешевого военного снаряжения и оборудования;
5) значительное повышение чувствительности датчиков, регистрирующих возможное применение химического, биологического и ядерного оружия, а также систем диагностики ранений и оказания срочной помощи;
6) дальнейшее совершенствование систем контроля, связанных с ядерным разоружением и т.п.;
7) использование комбинированных нано- и микромеханических устройств для организации контроля над хранением ядерного оружия и связанных с этим систем.

Ниже, в главе 3 обсуждаются различные непредвиденные или побочные последствия внедрения нанотехнологий на социально-экономическое состояние общества. Такими последствиями могут стать, например, усиление неравенства в сфере медицинского обслуживания населения (которое может быть названо наносоциальным неравенством или наноразделением общества), сложности с экологией и т.п. [Roco and Bainbridge, 2001: Ch.3; а также Ch.5]. Проблема состоит в том, что нередко необходимая или требуемая законодательством проверка является очень длительной, так как испытания предлагаемых систем должны проводиться с учетом полного срока их использования, возможных социальных последствий, определения средств корректировки воздействий на ранних стадиях применения и множества иных факторов. Некоторые авторы требуют даже разработать этические нормы для ученых и инженеров, связанные с развитием и внедрением новых технологий типа НТ (предполагается, по-видимому, что это повысит личную ответственность и нравственную установку специалистов). К сожалению, в цитированных выше работах

практически не упоминаются военно-технические аспекты применения НТ или их использования для поддержания международного мира и стабильности (например, в системах контроля над вооружением).

В статье Йонаса и Пикро [Yonas and Picreaux, 2001] национальная безопасность рассматривается в контексте глобальной системы безопасности. Авторы считают, что развитие НТ только повышает общий уровень безопасности в сфере вооружений и предотвращения агрессии (за счет использования более быстрых компьютеров, более эффективных датчиков и систем связи, более компактных и «умных» роботов и т.п.). Они также признают, что в будущем такие технологии могут привести к распространению более дешевых и доступных средств осуществления террористических и подрывных действий, но не предлагают никаких вариантов решения этой проблемы.

В работе Уайтсайдса и Лава [Whitesides and Love, 2001] по применению НТ в задачах создания искусственного интеллекта короткий раздел посвящен смежным проблемам национальной безопасности. При этом (в контексте провозглашенной США концепции обеспечения военного превосходства и достижения результатов с минимальными потерями) авторы упоминают возможность использования квантовых компьютеров в криптографии, а также предлагают организовать анализ содержания информационных потоков в глобальных коммуникационных системах.

Доклад Толлеса [Tolles, 2001] был посвящен возможным применениям НТ в системах обеспечения национальной безопасности. Автор призывает к установлению разумного равновесия при решении экономических и чисто военных задач и подчеркивает роль эволюционных изменений в военно-технической сфере, вызываемых внедрением НТ. Толлес обращает внимание на то, что новые технологии открывают перспективы не только перед США, но и перед их потенциальными противниками, а также перечисляет связанные с развитием НТ преимущества, которые, по его мнению, могут и должны обеспечить США военное превосходство в будущем: создание высокоэффективного военного оборудования, улучшение подготовки личного состава, совершенствование систем связи и обработки информации, возможность проведения операций в опасной обстановке с использованием дистанционно управляемых роботов, снижение численности боевого состава вследствие автоматизации, совершенствование военно-медицинской службы, возможность очистки обширных территорий или оборудования от химического и биологического заражения, снижение общей стоимости оборудования (например, из-за использования более качественных и износостойких материалов). Толлес призывает читателей рационально оценивать возникающую ситуацию и не бояться фантастических предупреждений, связанных с появлением молекулярных ассемблеров, самовоспроизводящихся машин, бунтующих против человека роботов и т.д. Впрочем, его собственная позиция тоже не отличается последовательностью. С одной стороны, Толлес призывает к осуществлению обширной программы исследований в области военных применений НТ, с другой – отмечает, что развитие НТ может оказаться полезным для всего человечества, стремящегося избавиться от угрозы войны и создать систему глобальной безопасности. Автор как бы не желает замечать, что намечаемые им цели и предлагаемые действия явно противоречат друг другу.

1.5.9. Публикация Министерства обороны Великобритании 2001 года

В 2001 году Министерство обороны Великобритании опубликовало доклад «Стратегический контекст будущего», в котором сделана попытка общего прогноза развития до 2030 года по семи «измерениям», включая технологию, экономику, политику и военное дело [UK MoD, 2001]. В технологическом разделе авторы, естественно, попытались прогнозировать уровень развития техники к намеченному сроку. Предложенный ими список ожидаемых новинок включает многое: мощные компьютеры и новые области их применения; появление (на основе развития новых типов двигателей и источников питания) дистанционно управляемых беспилотных авиационных микроустройств; осуществление прямой и косвенной связи электронных устройств с человеческим мозгом (с использованием имплантированных или даже дистанционных интерфейсов); создание искусственного интеллекта (т.е. машин, способных к самостоятельным «размышлениям» и принятию решений). В связи с некоторыми из этих разработок авторы упоминают и о перспективах развития и возможных применениях НТ, в частности, когда речь идет о миниатюризации датчиков и оборудования, солнечных батареях из наноструктурных материалов, микроустройствах и нанороботах для разведывательных и иных целей. Нанотехнологии рассматриваются также при решении вопроса о создании специальных медицинских роботов для лечения или даже для «ремонта» повреждений ДНК непосредственно внутри организма человека[16]. В докладе отмечается, что революционные изменения в технологиях должны непременно привести и к изменению

военных доктрин и планов, но английские специалисты полагают, что военные НИОКР в этой области являются как бы маргинальными по отношению к исследованиям в гражданской сфере, вследствие чего позиция Великобритании сводится к удержанию ведущей роли в ключевых направлениях, отбору гражданских технологий военного значения, а также сотрудничеству с другими странами (в особенности с США).

Более конкретная программа НТ-исследований содержится в опубликованном позднее Информационном выпуске, специально посвященном НТ и их роли в оборонной политике [UK MoD, 2001a]. Составители отметили огромную потенциальную ценность НТ для оборонной мощи страны, но одновременно подчеркнули возможность возникновения новых военных угроз, связанных с НТ. Краткий список рекомендаций и предупреждений включает в себя следующие позиции:

- обеспечение совершенно засекреченной системы передачи данных;
- создание так называемых умных, высокоточных и полностью автономных систем вооружения ближнего и среднего радиуса действия;
- развитие усовершенствованных технологий типа «стелс» и одновременно методов обороны против их применения противником;
- создание глобальных информационных сетей и «невидимых» датчиков для использования в боевых условиях;
- создание мощных, но миниатюрных батарей и других источников питания;
- создание систем искусственного интеллекта (т.е. устройств, способных принимать решения);
- создание самозалечивающегося или саморемонтирующегося военного оборудования;
- создание новых вакцин и медицинских препаратов;
- разработка миниатюрных высокочувствительных датчиков химического и биологического оружия;
- борьба с опасностью несанкционированного применения новых видов химического и биологического оружия.

В соответствии с выводами Министерства обороны «желательно, чтобы система управления оружием не становилась полностью автоматической», т.е. принятие решений о применении оружия оставалось за человеком. Поскольку английские эксперты считают, что фундаментальные исследования НТ должны проводиться в частном

секторе, возрастает опасность, что именно потенциальный противник сможет первым догадаться о возможных военных приложениях и получить доступ к будущим системам оружия. Этот довод не представляется убедительным (учитывая высокий уровень военных технологий в Великобритании), однако нельзя забывать о возрастающей угрозе применения, например террористами, новых видов биологического или химического оружия, созданного на основе НТ.

1.5.10. Прогнозы Конференции по конвергенции технологий (2001–2002 годы)

В декабре 2001 года группа по изучению проблем национальной безопасности провела (при финансовой поддержке Правительства США) конференцию, посвященную проблемам так называемой конвергенции, или сходимости, новейших технологий и названную «Конвергенция технологий, повышающих возможности человека, – Нанотехнологий, Биотехнологий, Информационных технологий, Когнитивных наук». Эта концепция, обозначаемая аббревиатурой NBIC, будет рассмотрена подробнее ниже, в разделе 2.3. Участники конференции наметили семь целей, которые могут быть достигнуты в результате такого объединения [Roco and Brainbridge, 2003: Section E][17]:

1) объединение данных, прогнозирование угроз и повышение готовности (использование микродатчиков, повышение скорости передачи и переработки информации);
2) создание беспилотных боевых машин, что подразумевает разработку автоматических систем управления, имитирующих поведение опытных водителей и пилотов (авиация, танки, подводные лодки и т.п.);
3) развитие более совершенных методов обучения и тренировки военнослужащих, включающее разработку дешевых и высокоэффективных систем создания виртуальной реальности для обучения персонала (с применением и развитием зрительных, звуковых и двигательных сигналов и взаимодействий);
4) разработка методов обнаружения и защиты от различных видов веществ (биологических, химических, радиоактивных, взрывчатых), что подразумевает создание целого набора защитных средств и методик (микродатчики, защитные маски и одежда, безопасные для окружающей среды средства и методы обеззараживания, системы физиологического контроля и профилактики);

5) разработка разнообразных систем для боевого применения (повышение объема памяти и быстродействия электронных устройств примерно в 100 раз; разработка гибких и тонких дисплеев или даже систем прямой передачи требуемой информации на сетчатку глаза; создание сетевых систем связи; разработка автоматических боевых средств, способных разыскивать и преследовать намеченную цель; мониторинг состояния персонала, а также быстрое детектирование химических и биологических боевых веществ; уменьшение веса, объема и энергопотребления армейского оборудования);
6) разработка нефармацевтических методов повышения работоспособности и боеспособности персонала, т.е. модификация биохимических процессов в человеческом организме, развитие методов компенсации недосыпания; усиление физических или психологических характеристик организма, повышение уровня выживаемости при ранениях;
7) развитие и применение интерфейсов для систем [человек/машина], т.е. разработка методики для записи сигналов мозга без вмешательства в его работу, а также создание механизмов обратной связи, позволяющих использовать эти сигналов для управления различными устройствами.

По мнению членов группы, прогресс в указанных направлениях обеспечит США явное технологическое превосходство и снизит вероятность возникновения новых войн. К сожалению, на конференции совершенно не рассматривалась угроза возникновения новой гонки вооружений, дестабилизации общей обстановки и появления неожиданных осложнений.

1.5.11. Обзорная статья Петерсена и Эгана 2002 года

В марте 2002 года Центр по выработке политики в области технологий и национальной безопасности при Университете национальной обороны (Вашингтон, округ Колумбия) опубликовал обзорную статью по проблемам НТ [Petersen and Egan, 2002], содержащую краткий очерк развития НТ, а также обсуждение их перспектив и возможных военных применений. В отличие от текста ННИ (см. раздел 1.5.8), авторы статьи не подразделяют задачи нанонауки на среднесрочные и предвидимые (или даже фантастические, типа создания нанороботов, возникновения «сингулярности» и т.п.), а пытаются охватить

проблему целиком. Они повторяют предупреждения Габрада о возможной дестабилизирующей роли НТ (см. раздел 1.5.3) и предлагают повышать международную безопасность борьбой с экономическим неравенством, используя военную мощь для предотвращения конфликтов, а не для реальных боевых операций.

1.5.12. Доклад Департамента науки и технологии военно-воздушных сил США 2002 года

Департамент науки и технологии военно-воздушных сил при Совете национальной безопасности США образовал комитет по изучению значения микро- и нанотехнологий для военно-воздушных сил, который в 2002 году представил 240-страничный доклад по этой теме [NRC Committee, 2002]. Перекрывающимися темами доклада стали: новые возможности передачи и обработки информации, миниатюризация, новые конструкционные материалы, повышение функциональных возможностей устройств и их автономности. Учитывая широкий диапазон и развитие нанотехологических исследований по всему миру, комитет рекомендовал военно-воздушным силам производить строгий отбор и сосредоточить НИОКР именно на развитии информационных технологий. В докладе представлена также подробная классификация вариантов использования МСТ/НТ, демонстрирующая их возможное применение практически во всех интересующих военно-воздушные силы целях. Предложения и рекомендации авторов относятся как к развитию технологий, так и к политическим решениям. В вопросах технологии авторы считают ключевыми следующие задачи и направления: миниатюризация электронных устройств; новые материалы; биологические науки (биомиметика, биокомпьютеры, повышение возможностей человеческого организма); создание подвижных или фиксированных «роев» из датчиков; исследование процессов движения и аэродинамического управления; комплексное проектирование систем программного и аппаратного обеспечения; изучение процессов направленной сборки и самосборки наноструктур. В области внутренней политики авторы рекомендуют руководству военно-воздушных сил повысить уровень финансирования указанных разработок (концентрируя усилия на фундаментальных разработках и конкретных собственных задачах), а также улучшить системы планирования и координации исследований.

1.5.13. Статьи С. Ховарда 2002 года

Летом 2002 года в журнале «Дипломатия разоружения» (Disarmament Diplomacy) были опубликованы две статьи, посвященные проблемам НТ и оружию массового поражения. В первой из них Син Ховард [Howard S., 2002] кратко излагает историю НТ, а затем рассматривает военные составляющие ННИ и возможную роль Института армейской нанотехнологии (см. раздел 3.1.6). Явно следуя сценарию Дрекслера, автор предупреждает об угрозе возникновения «серой слизи» и соглашается с предсказаниями Б. Джоя относительно опасности сочетания в НТ методов биологической и химической войны (см. раздел 3.1.6). Он считает, что современные ученые могут уподобиться физикам-ядерщикам 30-х годов прошлого века (которые весьма скептически относились к возможности создания атомной бомбы), вследствие чего продолжение нанотехнологических исследований может неожиданно привести к созданию нового оружия массового действия, которое может попасть в руки террористов. Ховард придумал для всей совокупности рассматриваемых наук и технологий собственный обобщающий термин «исследование внутреннего пространства» (inner-space research) и подробно рассмотрел возможности их полного запрета или управляемого развития. Для каждого из этих вариантов он написал примерный текст некоего документа, высокопарно озаглавленного «Договор о внутреннем пространстве». В первом варианте внутреннее (атомарное и молекулярное) пространство объявляется для всех государств мира зоной свободных исследований и инженерных разработок, за исключением попыток создать атомарные структуры для оружия массового поражения. Второй вариант Договора полностью запрещает «любую деятельность ... связанную с нанотехнологическими исследованиями или инженерными разработками во внутреннем (атомарном и молекулярном) пространстве», и более того, в нем объявляется режим некоего Международного протектората над этим пространством.

Нельзя не приветствовать столь ясно выраженную цель автора — предотвратить возможное использование НТ в целях создания новых типов оружия, однако нельзя и не признать, что предлагаемые им меры выглядят слишком грубыми и непрактичными. Дело в том, что оба варианта Договора имеют один и тот же существенный недостаток — они буквально повторяют все формулировки известного Договора о космическом пространстве (игра слов, так как по-английски «космос» — outer space, внешнее пространство. — *Прим. пер.*), с заменой везде слов «космос, космическое пространство» на «внутреннее пространство», в результате чего многие предложения становятся просто бессмысленными. Например, совершенно неясно, что означают фразы типа: «должен быть позволен доступ во все области наносферы», «внутреннее пространство не может быть предметом национальной собственности» или даже «Государства... осуществляют нанотехнологическую деятельность во внутреннем пространстве в соответствии с законами международного права»? Означает ли это, например, что государства должны информировать генерального секретаря ООН о разработках в области нанотехнологии и даже требовать от него, чтобы он распространял полученную информацию? Все предлагаемые идеи автора основаны на полном пренебрежении существенной и принципиальной разницей между внутренним и внешним пространством, т.е. пространством микро- и макромира. Проблема заключается в том, что макромир (космос) весьма велик, вследствие чего его исследования всегда требуют огромных затрат и усилий, результаты которых всегда заметны, а число — ограничено. Любое проявление активности в космосе (например, запуск ракеты) легко регистрируется, проверяется и перепроверяется на огромных расстояниях. В противоположность этому, «внутреннее пространство» (по терминологии Ховарда) доступно повсеместно, его исследования и связанные с ними инженерные разработки могут осуществляться практически везде, а контроль за их проведением представляется исключительно дорогим и сложным мероприятием. Наложение условий типа «все нанотехнологические разработки... должны быть открыты для инспекции» выглядит весьма разумным с общей точки зрения, но стоит задуматься и о процедуре реализации такого предложения, т.е. осознать, что оно гораздо сложнее, например, организации инспекции каких-нибудь баз на Луне. Основное возражение против предлагаемого Ховардом запрета на наноисследования состоит в том, что такой запрет уже не может быть применен задним числом (закон не может иметь обратной силы) против основных теорий, орудий и методов, изобретенных и уже использованных в XX веке для исследования атомного и молекулярного пространства (т.е. против ускорителей элементарных частиц, обнаружения структуры ДНК, микроэлектроники, молекулярной биологии и т.п.). С другой стороны, статья Ховарда убедительно доказывает, что научному сообществу (а возможно, и всему человечеству) следует очень серьезно задуматься о глобальных проблемах развития науки и технологии, а не ограничиваться лицемерным использованием весьма широких и расплывчатых формулировок, определений и ограничений.

1.5.14. Статья А. Гспонера 2002 года

Летом 2002 года в том же журнале «Дипломатия разоружения» (Disarmament Diplomacy) была напечатана статья А. Гспонера, посвященная возможностям применения НТ в создании так называемого ядерного оружия четвертого поколения [Gsponer, 2002]. Она носит весьма общий характер, а многие ее положения представляются голословными и сомнительными[18]. Основная идея автора состоит в том, что развитие МСТ и НТ позволит создать «чисто термоядерное» оружие, действие которого будет основано только на использовании реакции синтеза. Отказ от «запала» из делящегося материала позволяет весьма существенно снизить мощность (в тротиловом эквиваленте новое оружие будет измеряться не мега- и килотоннами, а всего лишь тоннами). При этом подразумевается, что вес самих устройств будет составлять несколько килограмм.

Совершенно правильно утверждение автора, что такое оружие (если оно, конечно, будет реально создано) может самым драматическим образом изменить стратегическую ситуацию в мире, поскольку его появление почти полностью «уничтожит» слабую границу между обычным оружием и оружием массового поражения. Однако стоит вспомнить, что почти все разговоры о таком оружии основаны на незначительных успехах в рамках американской исследовательской программы National Ignition Facility (NIF)[19]. Действительно, в экспериментах с использованием гигантских сверхмощных лазеров (занимающих огромные площади исследовательских лабораторий) удается «поджигать» микротаблетки, но совершенно неясно, как эти идеи могут быть доведены до инженерной реализации, т.е. воплощены в действующие взрывные устройства килограммового веса. С другой стороны, нельзя не упомянуть, что существуют и другие научно-технические методы инициирования реакции термоядерного синтеза, некоторые из которых обсуждаются в подразделе 4.1.19.2.

ГЛАВА 2

ОБЩИЙ ОБЗОР РАЗВИТИЯ НАНОТЕХНОЛОГИИ[1]

В начале этой главы (раздел 2.1) вводятся определения и общие понятия, связанные с нанотехнологиями (НТ), после чего в разделе 2.2 обсуждаются футуристические проблемы возможного развития так называемых молекулярных НТ и связанных с ними представлений и концепций. Раздел 2.3 посвящен концепции предсказываемому некоторыми учеными процессу слияния, или конвергенции, целого ряда наук и технологий, непосредственно или косвенно связанных с НТ. Речь идет о нанотехнологиях, биологии, информационных технологиях и когнитивных науках (относящихся к теории познания). Затем читателю предлагается вариант систематизации направлений развития НТ (раздел 2.4), краткий очерк современного состояния НИОКР в этой области и некоторые прогнозы развития рынка связанных с НТ продуктов и товаров (разделы 2.5 и 2.6 соответственно).

2.1. Общие сведения

2.1.1. Определения используемых понятий и величин

Слово «нанотехнология» является производным от понятия «нанометр», означающего одну миллиардную часть метра (1 нм = 10 ^{9} м), и относится к исследованию или использованию структур с размерами примерно от 0,1 нм (размеры изолированного атома) до 100 нм (размеры крупной молекулы)[2]. Иногда термин «нанонаука» относят к любым научным изысканиям в этом диапазоне, а термин «нанотехнологии» применяют к использованию создаваемых при этом артефактов. В широком смысле НТ объединяет все исследования в этой области, включая и те, которые не связаны с прямым использовани-

ем получаемых результатов. Именно этим определением НТ и пользуется автор предлагаемой книги[3].

Очень часто аналогичные исследования в диапазоне размеров от 0,1 мкм (100 нм) до нескольких сотен микрометров (именно эти масштабы были и остаются наиболее важными и интересными для микроэлектроники и связанных с ней производственных процессов) обобщают термином «микросистемные технологии» и аббревиатурой МСТ[4]. Системы с размерами от нескольких десятков до нескольких сотен микрометров (т.е. располагающиеся между микро- и макро-) иногда называют мезоскопическими[5]. Характерные размеры некоторых общеизвестных объектов этих размеров приводятся в табл. 2.1.

Таблица 2.1. Сравнительные размеры некоторых объектов. НТ относятся к диапазону от 0,1 до 100 наномстров (нм). 1 мкм = 1 мм = 10^{-6} м = 1000 нм; 1 нм = 10^{-9} м; 1 пикометр (пм) = 10^{-12} м = 0,001 нм; 1 фемтометр (фм) = 10^{-12} м = 0,000001 нм.

Атомное ядро	1 – 7 фм
Атом кремния (в кристаллической решетке)	0,24 нм
Молекула воды (наибольший диаметр)	0,37 нм
Углеродная нанотрубка (диаметр)	0,7 – 3 нм
Ширина молекулы ДНК	2 нм
Белки (диаметр молекулы гемоглобина)	6 нм
Транзистор в современной интегральной схеме	100 нм
Биологическая клетка животного (диаметр)	2 – 20 мм
Человеческий волос (диаметр)	50 – 100 мм

С одной стороны, НТ можно рассматривать в качестве прямого продолжения и развития методов МСТ при переходе к более мелким размерам, поскольку дальнейшая миниатюризация в электронике должна была естественно привести исследователей к изучению объектов с размерами ниже 100 нм (см. раздел 2.1.3). Однако стоит отметить, что такое уменьшение размеров (т.е. переход к НТ) означает и переход в область, где начинают проявляться совершенно новые физические явления. Вообще говоря, нано- и микросистемные технологии не только перекрываются в некоторых диапазонах, но и взаимосвязаны, вследствие чего любая попытка их строгого разграничения является бесполезной. МСТ позволяют создать наномасштабные манипуляторы или аналитические инструменты (типа кантилеверов в атомно-силовых микроскопах), которые, вообще говоря, выступают некими «посредниками» между микро- и макрообъектами, как показано, например, в работе [MacDonald, 1999]. Более того, НТ создают новые области применения МСТ, позволяя, например, осуществлять распознавание ДНК с использованием фрагментов от различных образцов, специфически связанных с микровпадинами в силиконовом чипе. Вообще, комбинирование методов и подходов НТ и МСТ в прикладных разработках является чрезвычайно интересным и перспективным направлением их развития.

2.1.2. Восходящие и нисходящие производства в нанотехнологии

Вообще говоря, наиболее распространенным способом получения малых структур и изделий (например, в производстве микроэлектронных устройств или в MST) в прошлом всегда являлось так называемое *нисходящее* (сверху вниз) производство, при котором изготовитель, пользуясь макроскопическими инструментами, удалял из крупной заготовки (или, наоборот, добавлял к ней) требуемые количества вещества, стараясь обеспечить возможно большую точность размеров. Такой подход при переходе к наномасштабным объектам приводит к непреодолимым техническим сложностям (например, создавая все меньшие фотолитографические маски, исследователь должен пользоваться все меньшими длинами волн для экспозиции фоторезиста, что быстро приводит к применению предельно коротковолнового, ультрафиолетового излучения). Кроме того, любой процесс повышения точности механической обработки связан с резким возрастанием стоимости производства, так что, например, стоимость промышленной линии производства полупроводниковых устройств уже в середине 90-х годов стала составлять выше 1 миллиарда долл. [Timp et al., 1999; Section I A]. В настоящее время можно (по крайней мере, в принципе) создавать некоторые наносистемы, управляя движением атомов или небольших молекул на поверхности при помощи сканирующего туннельного микроскопа, а также облучая поверхность пучком ионов или электронов с очень небольшой длиной волны (порядка 0,05 нм), однако эти методы остаются пока очень сложными и позволяют получать лишь штучные изделия.

Массовое, дешевое производство требует одновременного изготовления большого числа изделий. Один из стандартных подходов (примерами чего могут служить литография, штамповка, тиснение и

печатное дело) к организации такого производства заключается в медленном и тщательном изготовлении исходного образца, с которого позднее простыми операциями можно получить огромное количество копий. Еще один подход, позволяющий избежать сложного и дорогостоящего процесса изготовления исходных наносистем, заключается в использовании очень большого числа автоматических нано/микроманипуляторов, работающих параллельно[6].

Совершенно иной принцип связан с так называемым *восходящим* (снизу вверх) производством, при котором под действием физико-химических сил происходит «самосборка» компонент. Примерами такой самосборки или самоорганизации могут служить процессы образования квантовых точек (представляющих собой двухмерные системы на полупроводниковой подложке с разными параметрами решетки) или формирование на поверхности золота монослоя из параллельно ориентированных алкан-тиоловых молекул с концевыми атомами серы [см., например, De Wild et al., 2003]. Приведенные примеры самоорганизации можно реализовать сравнительно простыми методами, однако формирование более сложных структур (например, трехмерных вычислительных и запоминающих элементов со всеми необходимыми связями) требует изощренной техники. Вдохновляющим примером для исследователей могут служить многие естественные биологические процессы (типа роста нервных окончаний), однако их воспроизведение в искусственных системах пока остается несбыточной мечтой.

Конечной целью нанотехнологий выступает разработка методов создания любых трехмерных образований (молекул и более сложных структур) из атомов заданного типа в заданном положении, что должно позволить «создавать и формировать мир, атом за атомом», как было гордо заявлено в брошюре, изданной руководством ННИ США [IWGN, 1999a][7]. Вообще говоря, такой подход подразумевает возможность создания даже таких систем и материалов, которые трудно или невозможно получить традиционными химическими методами, основанными на термодинамических или стохастических процессах. Единственным ограничением на этом пути могут стать фундаментальные законы природы, но общее направление представляется ясным – необходимо научиться осуществлять восходящие процессы, постепенно переходя от простой самосборки (т.е. овладевая методами «машинной» сборки на микро- и наноуровне) к моделированию сложных явлений, которые можно уподобить развитию живых организмов.

2.1.3. От микроэлектроники к наноэлектронике

Весьма показательная в этом смысле ситуация складывается в развитии микроэлектроники, где непрерывно продолжающаяся миниатюризация уже сейчас явно приводит разработчиков и производителей к использованию НТ [Timp et al., 1999]. Более сорока лет общая тенденция определялась так называемым законом Мура, в соответствии с которым плотность компонент интегральных электронных схем возрастала вдвое за каждые 15 лет, что достигалось непрерывным уменьшением размера элементов с параллельным возрастанием тактовой частоты и усложнением чипов. Легко подсчитать, что в соответствии с такой общей тенденцией уже к 2003 году характерные размеры схем должны были составлять около 100 нм, а в 2004 году – уже 90 нм, т.е. попасть в область определения нанотехногии. На рис.2.1 приведена экстраполированная оценка из так называемого Путеводителя развития полупроводниковой промышленности, из которой следует, что к 2016 году характерные размеры элементов должны составлять 22 нм. Естественно, что достижение таких результатов должно быть связано с какими-то принципиально новыми методами или результатами. Например, преодоление следующего рубежа (45 нм) в 2008 году может быть связано лишь с внедрением литографических методик следующего поколения (использование ультрафиолетового излучения, электронных пучков и т.п.), что потребует развития новых типов соединений (радиосвязь, оптические устройства). Одновременно с уменьшением размера возрастает стоимость заводского оборудования, что также диктует необходимость принципиальных изменений в типах изготовляемой продукции, вследствие чего сейчас ведутся интенсивные разработки устройств нового типа (особенно с учетом возможности трехмерной регистрации информации): магнитных или ферромагнитных запоминающих устройств; одноэлектронных транзисторов; пересекающихся или переплетающихся нанопроводов; органических молекул в качестве проводников, запоминающих и переключающих устройств; атомарной «записи» при помощи атомно-силовых зондов и т.п. [Timp et al., 1999; Reed and Tour, 2000; Gracias et al., 2000; Lieber, 2001; Vettiger et al., 2002; Chen et al., 2003; обсуждение спорных вопросов последней работы можно найти в публикации Service, 2003]. В настоящее время процессы нисходящего производства уже представляются разработчикам и производителям слишком медленными и дорогостоящими, а методы восходящего производства (как в изготовлении элементов, так и в их

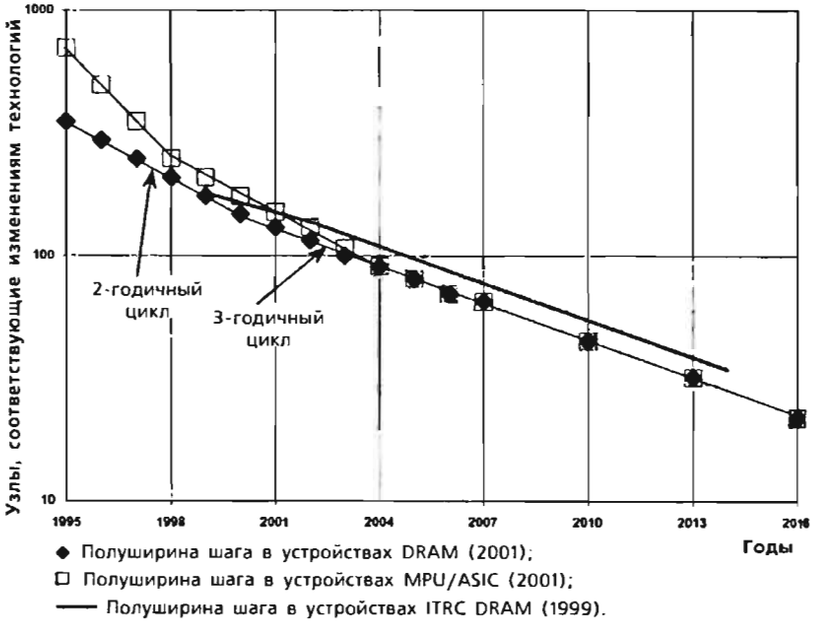


Рис. 2.1. Уменьшение характерных размеров деталей интегральных схем в соответствии с Путеводителем развития мировой полупроводниковой промышленности (ITRS, International Technology Roadmap for Semiconductors). Начиная с 2004 года так называемая ширина полушага (half pitch)[8] микропроцессорных устройств (MPU) и интегральных схем типа ASIC (application-specific integrated cirquits) будет совпадать с шириной полушага в чипах динамических запоминающих устройств с произвольной выборкой (DRAM). Все данные интерполированы, поскольку технологии меняются раз в несколько лет, а узловые точки на рисунке условно соответствуют появлению новых «поколений» распространенных изделий полупроводниковой техники. Сравнивая данные с предсказаниями аналогичного Путеводителя за 1999 год, можно отметить ускорение развития (в пересчете на 1 год), однако в издании 2003 года отмечается возможность годичного замедления [ITRS, 2003: 38]. Напомню читателю, что данные по вертикальной оси отложены в логарифмическом масштабе. Рисунок взят из публикации [SIA 2001:, 34], разрешенной для воспроизведения

соединении) еще находятся в стадии становления и пока недостаточно развиты для внедрения в промышленность.

2.1.4. Новые физические эффекты и новые свойства вещества в нанометрическом масштабе

Структуры с размерами ниже 10 нм принципиально отличаются по своим физико-химическим свойствам от более крупных, что легко объясняется рядом очевидных эффектов. Первый из них связан просто с геометрией частиц и объектов, так как при уменьшении размеров резко возрастает весьма важное для большинства процессов соотношение поверхность/объем (или поверхность/масса). Химикам хорошо известно, что в высокодисперсных и высокопористых материалах значительно увеличивается площадь адсорбции и, соответственно, химическая реакционная способность материалов. Такие эффекты широко используются в катализе, химической кинетике (для увеличения реакционной способности), повышении плотности аккумулируемой или преобразуемой энергии (например, в водородных батареях или мембранах топливных элементов) и т.п. Материаловедам хорошо известно, что в объемных материалах уменьшение размера кристаллитов приводит к повышению механических характеристик. С другой стороны, общеизвестно также, что в поведении очень малых объектов силы трения играют незначительную роль, в то время как значение адгезионных сил существенно возрастает и т.д.

Гораздо более важным является то, что в поведении нанометрических объектов начинают проявляться квантово-механические эффекты. Например, в малых частицах электроны не могут больше находиться в непрерывных энергетических зонах (как это имеет место в обычных твердых телах), а вынуждены занимать лишь немногочисленные узкие энергетические уровни, структура которых определяется размерами частицы. Такое ограничение резко меняет сам механизм электропроводности рассматриваемого материала, поскольку она становится квантованной величиной, т.е. начинает зависеть от заселенности уровней, которая сама меняется дискретно. Затем при самом небольшом изменении размеров начинается коллективное движение электронов по так называемой баллистической моде со скоростью, значительно превышающей термически равновесную. Это движение происходит почти без рассеяния и характеризуется очень низкими омическими потерями и высоким потенциалом, в результате чего в устройствах достигаются очень высокие плотности тока и скорости переключения.

Поскольку именно электронные уровни энергии определяют оптические свойства вещества, изменение размера микрочастиц дает возможность регулировать поглощение и испускание света, т.е. изменять, например, флюоресценцию полупроводниковых квантовых точек в широком диапазоне длин волн: от видимого спектра до ближнего инфракрасного[9]. Еще одним важным аспектом рассматриваемой проблемы выступает существование коллективных возбужденных состояний поверхностных электронов (так называемых поверхностных плазмонов). Стоит упомянуть, что именно плазмонный резонанс в наночастицах золота придает знаменитую золотистую окраску прекрасным стеклянным витражам Средневековья.

Проявлений новых физических свойств нанометрических молекулярных структур очень много, и их список легко расширить. Особенно сильно такие эффекты проявляются в биохимических структурах при преобразовании химической энергии в кинетическую (например, механизм действия молекул кинезина, миозина и т.п.). Они играют, по-видимому, также важнейшую роль в поглощении и распределении энергии фотонов внутри биологических структур разных типов для процессов передачи нервных сигналов (например, в механизме действия родопсина в бактериях или в клетках воспринимающей системы органов зрения).

2.1.5. Разнообразные применения углеродных нанотрубок

Углеродные нанотрубки были открыты в 1991 году и очень быстро стали одним из самых интересных и популярных объектов изучения. Исследования самих трубок, методов их получения и применения уже стали одним из важнейших направлений научных и прикладных разработок [Goronkin et al., 1999; Busbee, 2002:, 9–11; Moriarty, 2001; Salvetat-Delmotte and Rubio, 2002; Lau and Hui, 2002; Meyappan and Srivastava, 2002]. Обычно они имеют толщину от одного до нескольких нанометров и длину в несколько микрометров, и могут образовывать однослойные или многослойные структуры (иногда их называют одностенными или многостенными). В своей простейшей, одностенной форме такие трубки можно рассматривать в качестве монослойного (двухмерного) кристалла графита, «завернутого» в виде цилиндра с двумя фуллереновыми полусферами на концах (рис.2.2). В зависимости от диаметра и хиральности строения одностенные углеродные нанотрубки могут обладать как металлическими, так и полупроводниковыми свойствами. Электрическим свойствам многостенных нанотрубок (с большим числом слоев и сложной структурой) вообще очень трудно подобрать адекватные и достаточно точные формальные определения.

Теоретические расчеты и экспериментальные исследования выявили, что прочность на разрыв (максимальная нагрузка в пересчете на единичное поперечное сечение, не приводящая еще к разрыву образца) для таких образований составляет от 50 до более чем 100 ГПа, что примерно в 100 раз превышает соответствующий коэффициент для стали (0,3–1,8 ГПа). Принимая во внимание, что их плотность равна 1,3 Мг/м^3 (~ 1/6 плотности стали, равной 7,9 Мг/м^3), можно смело считать углеродные нанотрубки наиболее прочным веществом из всех известных на сегодняшний день. Иными словами, они обладают максимальным отношением прочность/плотность, т.е. обеспечивают максимальную прочность при заданном весе. Поэтому дальнейшие перспективы их практического применения зависят лишь от нашей способности получать более длинные углеродные нановолокна, сплетать или перекручивать их для изготовления канатов и создавать композитные материалы на этой основе. В последнем случае основная проблема сводится к обеспечению максимально большей передачи нагрузок на границах раздела армирующего материала (нанотрубок) и наполнителя (матрицы), что может быть обеспечено, например, введением функциональных групп в состав адгезивных агентов композита. Техническая сложность задачи заключается в том, что такие группы могут снижать прочность самих нанотрубок, однако ее решение обещает (по крайней мере, в принципе) возможность осуществления фантастических проектов. Именно с материалами такого типа связаны известные проекты создания космической башни или лифта с канатом протяженностью около 100 тысяч километров, Лифт планируется смонтировать на экваторе планете, а его натяжение должна обеспечивать центробежная сила вращения Земли при воздействии на «хвост» каната, простирающийся за границу геостационарной орбиты (> 36 тысяч километров). Такой лифт позволит не только выводить на орбиту требуемые грузы или геостационарные и другие спутники, но и выбрасывать в космос с орбиты (подобно гигантской «праще») автоматические станции к другим планетам или даже иным звездным системам (например, см. [Edwards, 2000, 2000a]).

Углеродные нанотрубки могут использоваться в молекулярной электронике прежде всего в качестве соединительных элементов схемы с ничтожным электрическим сопротивлением (благодаря упомя-

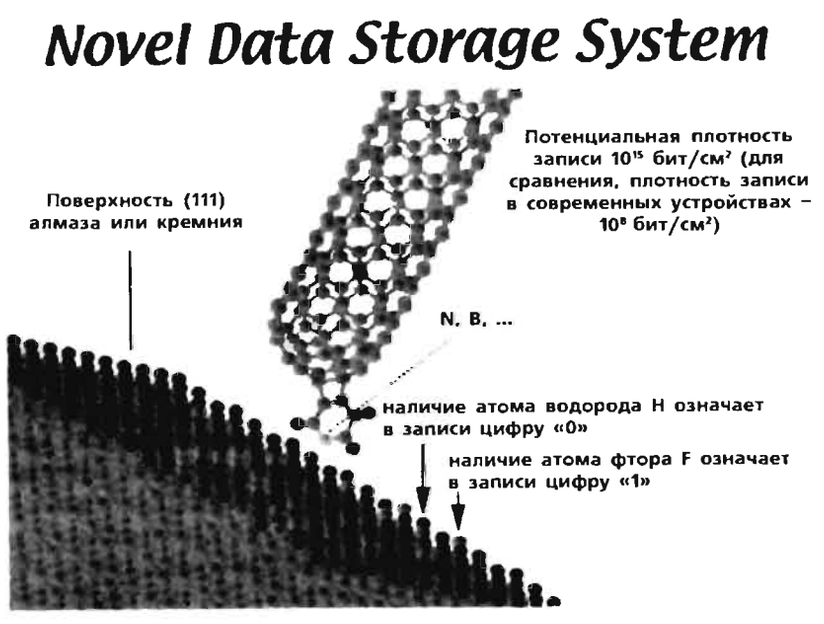


Рис. 2.2. Запись «текста» с использованием углеродной нанотрубки на острие зонда сканирующего микроскопа при кодировании битов информации атомами углерода и фтора на поверхности кремниевого кристалла по концепции, разрабатываемой НАСА (рисунок воспроизводится с разрешения НАСА из источника [NASA, 2002a], оригинальное изображение – цветное)

нутой выше баллистической моде электронного переноса[10]). Кроме этого, нанотрубки позволяют формировать структуры, напоминающие так называемые выпрямляющие и переключающие переходы в полупроводниках. Например, в полевых транзисторах величина тока, протекающего через нанотрубку (расположенную над изолирующим слоем двуокиси кремния), может контролироваться напряжением на расположенном под ней кремниевом вентиле. Проводимость полупроводниковых нанотрубок очень сильно меняется в зависимости от модификации их поверхности или механических деформаций, что естественно наводит на мысль об их использовании в качестве датчиков, регистрирующих, например, адсорбцию молекул на их поверхности или просто наличие механических воздействий (типа перепада давления или вибрации). Нанотрубки, присоединенные к остриям зондов сканирующих микроскопов, позволяют обеспечить исключительно высокую чувствительность зондирования, как показано на рис. 2.2.

Благодаря своей способности пропускать значительный по величине электрический ток по очень тонким стенкам углеродные нанотрубки чрезвычайно удобны для создания устройств с полевой эмиссией или регулированием потока электронов при очень небольших изменениях напряжения в вакууме (поскольку в них не будет применяться накаливаемый катод). Такие разработки являются весьма перспективным направлением развития дисплеев и источников света.

В разработках источников питания углеродные нанотрубки уже зарекомендовали себя очень интересным объектом для «хранения» лития в батареях, но, к сожалению, надежды на то, что они окажутся полезными для поглощения больших количеств водорода при комнатной температуре, пока не оправдались. Однако исследования более сложных (но, возможно, более дешевых) материалов из нанотрубок для указанных целей продолжаются и, безусловно, являются перспективными [Frakowiak and Beguin, 2002].

2.2. Молекулярные НТ

2.2.1. Ассемблеры и молекулярные НТ

Начиная с середины 90-х годов сам термин «нанотехнология» стал использоваться во все более узком смысле, т.е. лишь для обозначения манипуляций на атомарном и молекулярном уровне, в особенности в связи с предложенной концепцией некоего универсального молекулярного ассемблера или сборщика [Drexler, 1981, 1986]. В дальнейшем (внутри общего потока развития НТ) возникла даже особая концепция, названная ее сторонниками теорией молекулярных НТ (МНТ)[11]. Позднее выяснилось, что не стоит приписывать обоснование теории Дрекслеру и его последователям, поскольку какие-то основы новой научной идеологии были заложены еще в работах конца 60-х годов. В наиболее общем смысле теория сводится к обсуждению возможностей молекулярной инженерии, создания искусственных нанорепликаторов, молекулярных двигателей, а также проблем эволюции искусственных сред, использования нанороботов в медицине, для борьбы со старостью и т.п.[12] В своей знаменитой речи 1959 года Р. Фейнман говорил о возможности организации массового производства сверхмалых по размеру деталей с использованием огромного количества микроскопических обрабатывающих устройств, способных последовательно осуществлять процессы миниатюризации[13],

о механических «хирургических» инструментах, способных действовать внутри кровеносных сосудов человека, и о возможностях имитации действия биологических систем и синтезе любых мыслимых (с точки зрения химической устойчивости) соединений посредством прямой «укладки» атомов в требуемые структуры.

Наглядным примером или моделью действия молекулярных НТ могут служить обычные биохимические процессы в живых клетках или органах организма, которые реально происходят и управляются на молекулярном уровне. В качестве типичных примеров можно привести процессы жизнедеятельности обычных клеток, внутри которых с так называемых информационных ДНК считывается и декодируется информация, на основе которой другие молекулы (рибосомы) осуществляют синтез белков из присутствующих в окружающей жидкости специфических аминокислот и т.д. Более того, в некоторых случаях эти реакции происходят при совместном каталитическом воздействии участвующих в реакции белков. Кажущиеся фантастическими проекты применения молекулярных НТ неявно подразумевают, что исследователям удастся понять и описать полный механизм происходящих в живом организме процессов. Полное описание процессов позволит, с одной стороны, обеспечить управление, контроль и даже манипулирование такими процессами. С другой стороны, полученные концептуальные знания могут быть использованы для создания «искусственной жизни», т.е. для конструирования требуемых объектов молекулярного размера на основе сведений о биохимических механизмах переработки информации в клетках (с использованием локальных, внутриклеточных низкоэнергетических источников питания). Такой подход в перспективе должен подвести разработчиков к задаче намеренного создания устройств, нацеленных на выполнение целей, которые никогда не могли бы возникнуть в обычных биохимических системах за миллионы лет естественной эволюции.

Основная концепция МНТ связана с универсальными молекулярными ассемблерами, представляющими собой запрограммированные молекулярные машины или устройства, способные синтезировать молекулы произвольного типа и даже более крупные структуры, «выстраивая» их из «строительных кирпичиков» запасенного материала или просто из окружающей среды (использование отдельных атомов в такой технологии должно быть относительно редким), т.е. механически укладывая их в нужном порядке с «атомарной точностью» (необходимой для образования намеченных химических связей). Такой гипотетический метод создания новых веществ (с использованием

требуемых для образования связей конкретных порций энергии) может быть назван механосинтезом [Drexler, 1981, 1986; Drexler and Peterson, 1991; Drexler, 1992]. Особую роль при этом приобретает, естественно, процесс самовоспроизведения самих молекулярных ассемблеров, при котором их число может возрастать экспоненциально (на практике это означает продолжение процесса до исчерпания всех доступных материальных ресурсов). Естественно, что огромное количество изделий является принципиально важным при производстве ничтожных по размерам объектов[14]. Процесс может носить разветвленный характер, т.е. после нескольких циклов «воспроизведения» из полученных продуктов начнется синтез конечных устройств с заданной структурой, причем на промежуточных стадиях в него могут быть включены стадии изготовления разнообразных микро- и макроустройств или роботов.

В соответствии с общей концепцией молекулярных НТ новые методы должны позволить формировать структуры практически с любой конфигурацией атомов при условии, что это не запрещено фундаментальными законами физики и химии. Это означает, что могут быть созданы (синтезированы) почти любые объекты, включая традиционные артефакты науки и техники, а также живые организмы и целый ряд необычных объектов, которые никогда ранее не существовали и не создавались природой или людьми. При этом в большинстве случаев для их изготовления не потребуются никакие особые исходные материалы, поскольку почти все структуры будут создаваться из атомов легких элементов (типа углерода, азота, кислорода, кальция и т.п.). Конечно, синтез биологических объектов должен оказаться энергоемким, однако в этих случаях можно воспользоваться солнечной энергией. Новые, «небиологические» системы смогут существовать и работать не только в водных средах, но и в совершенно ином окружении, в гораздо более широких диапазонах параметров среды. Они смогут функционировать при любых температурах (от арктических холодов до пламени костра), давлениях (от дна океана до космического пространства) или показателях pH среды (т.е. от кислой среды до щелочной). Их структурные элементы и оболочки будут изготовлены из прочнейших материалов, а поверхность может быть защищена жесткой оболочкой типа алмазной пленки. Такие ассемблеры должны быть способны самостоятельно производить заданные изделия в массовом количестве и по очень дешевой технологии, причем вмешательство человека в их деятельность будет (по крайней мере, теоретически) сводиться лишь к общему управлению и запуску процесса в целом.

В процессе самовоспроизведения число ассемблеров будет экспоненциально нарастать, так что процесс будет продолжаться до полного исчерпания материальных запасов в окружающей среде, невозможности размещать или транспортировать новые устройства и т.п. В гражданских секторах экономики экспоненциальный рост объема продукции обычно просто не нужен, однако он может оказаться существенным в условиях гонки вооружений или достижения военного превосходства в некоторой области (см. раздел 3.4).

Создание реальных прототипов описываемых ассемблеров, наноботов и самовоспроизводящихся систем должно существенно ускорить все последующие фазы развития описываемых технологий. Разумеется, не следует ожидать, что это событие будет выглядеть «прорывом» (горячие сторонники МНТ даже предсказывали, что после создания самого первого ассемблера должна немедленно произойти «двухнедельная техническая революция»), скорее оно осуществится за достаточно короткое время, но в результате сочетания целого ряда предварительных достижений. По всей видимости, как обычно, после создания первого ассемблера в процессе использования будут выявляться и исправляться ошибки проектировщика, начнется подгонка программного обеспечения, выявление скрытых дефектов (как говорят специалисты, «ловля блох») и т.п. [Kaehler, 1996][15]. Предполагается, что все процессы создания ассемблеров (проектирование, моделирование, конструирование и испытания) могут быть значительно ускорены при использовании быстродействующих устройств искусственного интеллекта, однако даже в этом весьма гипотетическом варианте наращивание возможностей создаваемых устройств потребует много времени, хотя бы просто при учете существующих законов природы.

В 1997 году известным деятелем в области создания программного обеспечения Джеймсом Р. фон Эром II [Ashlry, 2001; Zyvex, 2003] была основана венчурная компания «Зивекс» (Zyvex at Richardson, Texas, USA), официально объявившая своей целью реализацию некоторых достаточно фантастических идей МНТ. Компания со штатом в 37 человек (2001 год) поддерживает тесные отношения с Институтом прогнозов, некоторые из сотрудников которого (например, Р. Меркль и Р. Фрейтас) перешли на работу в «Зивекс», а институт разместил на веб-страницах компании материалы своей IV Конференции [Foresight, 1995]. Для создания наноассемблеров компания объединила работы по МСТ и наноманипуляторам и уже предложила в качестве коммерческого продукта некоторые устройства для научных исследований в этой области [Zyvex, 2003a].

2.2.2. Другие концепции, относящиеся к молекулярным нанотехнологиям

Развитие молекулярных НТ ассоциируется со многими футуристическими концепциями и проектами (перечисленными в табл. 2.2), некоторые из которых совсем не относятся к молекулярным ассемблерам и самовоспроизведению, а другие связаны с этими идеями лишь опосредствованно. Наличие «атомарно-точных» молекулярных манипуляторов сразу предполагает возможность их использования в качестве зондов в соответствующих структурах (например, в живых клетках). Такое применение ассемблеров должно, конечно, очень быстро привести исследователей к полному пониманию (или описанию) внутриклеточных биохимических процессов, что подтолкнет исследователей к решению задачи модификации или управления этими процессами, например хотя бы только для запуска или остановки (биологи называют это биостазисом) таких процессов. Нанороботы медицинского назначения могут сразу применяться в целом ряде важных направлений, например для исправления повреждений ДНК, борьбы с процессами старения клеток и т.п. [Drexler, 1986: Chs 7, 8; Freitas, 1999; Haberzett, 2002]. Используя МНТ, можно создать искусственные и гибридные органы или тканевые структуры, даже превосходящие по эффективности исходные натуральные аналоги в человеческом организме (например, так называемые респироциты, т.е. микрометрические наномеханические устройства с автоклавами, молекулярными насосами, нанокомпьютерами и т.п.), которые будут способны переносить примерно в 20 раз больше кислорода, чем красные кровяные тельца человека при том же объеме [Freitas, 1996–1999]. Не менее привлекательной выглядит и идея укрепления костей и зубов в человеческом организме с помощью алмазов [Reifman, 1996].

Технология создания (почти любых, практически произвольных) структур нанометрического размера открывает огромные перспективы для производства исключительно миниатюрных вычислительных и запоминающих устройств (с уменьшением физических объемов на несколько порядков), обладающих поразительным быстродействием и операционными возможностями.

Новые технологии возвращают исследователей к старой идее разработки «настоящего» искусственного интеллекта (ИИ), для создания которого НТ предлагает либо возникающую возможность весьма значительного усложнения уже известных информационных систем,

Таблица 2.2. Некоторые футуристические концепции и проекты, связанные с развитием МНТ (пояснения в тексте)*

Мобильные нанороботы
Универсальные молекулярные ассемблеры
Самовоспроизводящиеся структуры
Создание производственных автоматов большего размера
Нанокомпьютеры
(Сверх)человеческий искусственный интеллект
Автоматизация процессов проектирования и исследования
Модификация биохимических процессов, биостазис
Повышение эффективности работы органов
Искусственные биологические органы
Нанороботы, способные функционировать внутри живых клеток (исправление повреждений ДНК, синтез белков и т.п.)
Борьба с болезнями, предотвращение старения клеток
Нанороботы, способные взаимодействовать или контролировать нейроны
Считывание содержания структур мозга
«Воскрешение» чувственных переживаний или даже мыслей
Перенос содержания структур мозга в программное обеспечение
«Продление существования» в программном обеспечении
Имплантация в мозг устройств, повышающих объем памяти, вычислительные и сенсорные способности, способность к коммуникации
«Слияние» человека с компьютером
Работа в космосе (разработка астероидов, колонизация внеземных пространств, межзвездные путешествия)

* Описание многих других возможных применений молекулярных НТ внутри и вне человеческого тела можно найти в работе [Crandall, 1996].

либо даже прямую имитацию нейронных процессов мышления и обучения в мозгу человека. При этом размеры создаваемой мыслящей системы (модели) окажутся значительно меньше человеческого мозга, а ее быстродействие – в миллионы раз выше! Такие устройства ИИ смогут в течение ближайших десятилетий достичь интеллектуального уровня человека, а затем и легко превзойти этот уровень. Продолжение экспериментальных и теоретических исследований позволяет уже сейчас надеяться на возможность создания совершенно новых интеллектуальных систем, включающих в себя ассемблеры и «думающие машины». Такие устройства будут обладать фантастическими возможностями, а пределы их деятельности могут быть ограничены только законами природы [Drexler, 1986: Ch.5; Moravec, 1988: Ch.2; Kurzweil, 1999][16].

Весьма перспективными выглядят работы, связанные с введением нанороботов в нейроны, причем не только в целые клетки, но и в отдельные синапсы, благодаря чему, по мнению некоторых исследователей, мы сможем понять, как в мозгу формируются образы и понятия. Полученная и записанная таким образом достаточно полная информация может быть в дальнейшем загружена/выгружена в компьютер и использована не только для моделирования, но и для прямого продолжения мыслительного процесса данной «личности». В сущности, ничто не мешает нанороботам осуществлять и обратные действия, т.е. контролировать работу и деятельность нейронов, вызывая в них произвольные чувственные образы и мыслительные процессы. Нанороботы могут также обеспечивать связь нейронов с внешним вычислительным устройством, в качестве которого может выступать даже мозг другого человека [Moravec, 1988: Ch.4; Kurzweil, 1999: Ch.7].

Организация дешевого производства исходных устройств (из достаточно легких и прочных материалов) на основе молекулярных НТ позволит не только значительно снизить затраты на космические исследования, но и решить многие проблемы, связанные с недостатком минеральных ресурсов на Земле. Используя автономные самовос-производящиеся системы, человечество может организовать добычу полезных ископаемых в космосе, например на Луне, планетах и астероидах [см. Drexler, 1986: Ch.6, 8, 10; McKendree, 1998 и содержащиеся в этой работе ссылки]. Кроме того, молекулярные технологии могут оказаться чрезвычайно важными при осуществлении дальних космических полетов или даже колонизации далеких космических объектов. Некоторые сторонники МНТ считают необходимость таких дальних путешествий неизбежной, выдвигая при этом целый ряд разнообразных и взаимоисключающих причин, в том числе растущее загрязнение окружающей среды, возможность глобального биологического вымирания (например, из-за столкновения с крупным метеоритом), ядерную войну, экологическую катастрофу и т.п. В разряд причин переселения в дальний космос включается даже возможность перенаселенности планеты из-за успехов медицины, т.е. в результате победы науки над старостью и смертельными заболеваниями [Moravec, 1988: 101; MMSG, 2000; NASA, 2002; Bostrom, 2002; Rees, 2003].

Некоторая связь между представлениями об МНТ (в узком смысле понятия) и предлагаемыми футуристическими идеями прослежи-

вается как в текстах известных книг, так и в полемической или даже личной переписке ведущих специалистов и авторов. Например, Дрекслер предлагает всегда общие положения будущих теорий МНТ, а Моравек отдает предпочтение синтезу типа «атом-к-атому» [Drexler, 1986; Moravec, 1988: 73]. В связи с полемикой продолжается и структурная перестройка организаций, связанных с МНТ. Например, Курцвейль недавно вошел в состав Комиссии советников Института прогнозов [Kurzweil, 1999: Ch.7; Foresight, 2002], а известный специалист из Института прогнозов Р. Фрейтас стал членом редколлегии журнала «Эволюция и технология», издаваемого Мировой ассоциацией трансгуманистов [Jetpress, 2003]. В этой связи следует особо выделить речь В.С. Бейнбриджа на церемонии награждения лауреатов конференции Ассоциации (2003 год), которая транслировалось телевизионной сетью Трансвижион (Transvision). Бейнбридж является не только известным специалистом в области НТ, но и одним из редакторов издания трудов конференций (проводимых в рамках ННИ США) по вопросам социальных последствий использования НТ и проблемам упоминавшейся конвергенции наук (NBIC) [Roco and Bainbridge, 2001, 2003; см. также раздел 2.3]. Его выступление явилось страстным призывом к отмене всяких ограничений на клонирование человека, а также проекты «загрузки человеческой личности в компьютер» и «объединения ИИ с человеком»[17].

Необходимо также подчеркнуть, что некоторые из наиболее общих концепций, предлагаемых и пропагандируемых сторонниками молекулярных НТ, фактически не относятся непосредственно к НТ. Например, многие проекты в области биологии, медицины и ИИ могут быть реализованы и без использования универсальных молекулярных ассемблеров (или, по крайней мере, до их разработки), т.е. прогресс в этих направлениях может быть достигнут не в результате революционных открытий, а за счет медленного накопления знаний и достижений. С другой стороны, некоторые из предлагаемых проектов, возможно, не удастся реализовать в течение длительного времени (что, впрочем, может оказаться нашей удачей!).

2.2.3. Молекулярные НТ и фундаментальные науки

2.2.3.1. Молекулярные НТ и законы природы

Некоторые связанные с МНТ концепции выглядят на первый взгляд спекулятивными и фантастическими, однако большинство из них не

противоречит известным нам на сегодня законам природы. Сам Дрекслер неоднократно утверждал, что пределы возможностей МНТ определяются именно законами физики, и подчеркивал, что миниатюризация любых объектов ограничивается атомарным уровнем, так как при меньших масштабах сборка любых структур становится невозможной из-за мощных сил электростатического отталкивания между атомными ядрами [Drexler, 1986: Ch.10]. Для сравнения укажем, что размер ядер составляет несколько фемтометров (1 фм = 10^{-12} м), а размеры атомов равны ~ 0,1 нм.

С другой стороны, известный технолог (но не физик!) Р. Курцвейль настойчиво утверждает, что сокращение элементов вычислительной техники будет непрерывно продолжаться и их характерные размеры сократятся до пикометров (10^{-12} м) к 2072 году и даже до фемтометров к 2112 году. Он считает, что это должно происходить за счет создания структур из субатомных частиц (например, электронов) или кварков соответственно [Kurzweil, 1999; Ch.12, Time Line][18]. Очевидно, что с физической точки зрения прав Дрекслер, так как столь малые структуры не могут быть стабильными при обычных условиях из-за сильнейшего электростатического отталкивания и лишь теоретически могут быть стабилизированы в сверхплотном состоянии, напоминающем вещество в нейтронных звездах, что весьма трудно осуществить в предвидимом будущем[19]. Существуют и теоретические возможности создания таких структур при электромагнитном и иных взаимодействиях нуклонов в обычном веществе, но предлагаемые модели являются весьма далекими от реального использования для создания субнанометровых вычислительных элементов. Возможность практического применения более мелких частиц (например, составляющих нуклоны кварков) пока не заслуживает серьезного обсуждения.

Многие специалисты-компьютерщики формально относятся к различным почти фантастическим возможностям анализа работы мозга или «записи» его содержимого, рассматривая задачи абстрактно, без учета реальных физических процессов и ограничений. Курцвейль утверждает, например, что мы когда-нибудь сможем без вмешательства в работу мозгу замерить параметры состояния всех 10^{14} синапсов, из которых состоят 10^{11} нейронов мозга. При этом он исходит из того, что разрешающая способность техники (речь идет прежде всего об оптическом представлении данных при сканировании мозга с использованием ядерного магнитного резонанса) и эффективность компьютерной обработки получаемой информации будут непрерывно возрастать [Kurzweil, 1999: Ch.6]. Однако специалист-

физик может напомнить, что существуют и чисто физические ограничения на рост разрешающей способности любых приборов, определяемые внешним расположением измерительных устройств и временем, необходимым для последовательной фокусировки при сканировании всех элементов исследуемого объема.

В соответствии с идеями Г. Моравека человеческий мозг может быть замещен искусственным (и даже более эффективным, «улучшенным») в результате длительного, многоступенчатого процесса, при котором исследователи будут изучать и анализировать биохимические реакции и импульсы в нейронах постепенно (образно говоря, «послойно»), создавая все более сложные моделирующие программы. В результате таких экспериментов «пациент» при испытании (нажатии кнопки) не должен чувствовать разницу между функционированием реальной клетки мозга и ее «программы», что позволит в дальнейшем использовать «программу» вместо самой клетки, если последняя должна быть удалена (например, по медицинским показаниям) [Moravec, 1988: Ch. 4]. Предлагаемая идея оставляет открытыми множество вопросов: каким образом можно осуществлять контакт со всеми нейронами мозга, не нарушая их нормального функционирования? Как ведут себя при этом нейроны более глубоких уровней мозга? Каким образом можно анализировать работу нейронов при хирургической операции, когда пациент перестает думать и воспринимать действительность именно этими нейронами?

2.2.3.2. Молекулярные нанотехнологии и «нормальная наука»

Очень интересно и примечательно, что ведущие специалисты основных направлений развития мировой науки (того, что на современный манер можно назвать мэйнстримом науки) практически никак не откликнулись на возникновение МНТ и связанных с ними идей[20], несмотря на очевидную потенциальную важность рассматриваемых проблем. Это было характерно для начальной стадии развития теории МНТ, и в 1991 году в одном из постановлений бывшего Бюро по налогообложению технологий (Office of Technology Assessment, OTA) с некоторым удивлением отмечалось, что «существует очень мало публикаций по критическому обсуждению концепции молекулярных машин» [OTA, 1991: 21]. С тех пор ситуация почти не изменилась, в результате чего я могу указать в научной литературе много статей по отдельным вопросам развития молекулярных ассемблеров[21], однако

затрудняюсь назвать хоть одну публикацию, посвященную основной концепции. Лишь изредка ученые, занимающиеся «нормальной» НТ или обзором работ в этой области, позволяют себе короткие критические высказывания относительно МНТ, причем в основном в выступлениях на конференциях или при неофициальном обсуждении [например, Tolles, 2001; Vogel, 2001; Harper, 2003]. Наиболее серьезное обсуждение общей концепции я нашел в двух статьях журнала Scientific American, которые явно были написаны не в качестве ведущих материалов номера. В одной из них Р. Смолли утверждал, что «самовоспроизводящиеся механически роботы просто не могут существовать в нашем мире» [Smalley, 2000], а в другой – Дж. Уайтсадс доказывал, что в обозримом будущем такие системы могут быть лишь копиями и аналогами соответствующих биологических структур [Whitesides, 2001]. На эти публикации сторонники МНТ, разумеется, довольно быстро отреагировали подробными опровержениями [Drexler et al., 2001a], но последовавшее обсуждение не внесло ясности в существо обсуждаемой проблемы [Drexler and Smalley, 2003]. Упоминавшееся Бюро по налогообложению технологий, кстати, тоже отмечало «нежелание ученых выносить новую концепцию на серьезное обсуждение в научных публикациях» [OTA, 1991: 21, 22]. Большинство ведущих ученых относится к МНТ скептически, хотя некоторые из них, с другой стороны, даже получили присуждаемые Институтом прогнозов премии Фейнмана по НТ[23]. В этой связи интересно мнение одного из руководителей группы, впервые сумевшей создать неорганическое (можно ли назвать его механическим?) устройство с биомолекулярным двигателем, который считает, что сама идея реализации «сложного технического устройства, сочетающего механику с... фундаментальными биохимическими процессами жизни», постепенно переходит из разряда научной фантастики в категорию «достижимых целей науки» [Montemagno, 2001][24].

В отличие от концепции молекулярных ассемблеров, идея создания компьютеров с развитым интеллектом (равным или даже превосходящим интеллект человека) не встретила в среде специалистов по вычислительной технике, робототехнике и искусственному интеллекту (ИИ) заметного скептицизма и многими из них была воспринята в качестве признания или даже рекламы их деятельности[25]. В этой связи интересно отметить, что в одном из постановлений Конгресса США содержится прямая просьба или требование к Национальному исследовательскому совету «осуществить в течение ближайших трех лет изучение технических возможностей молекулярной самосборки вещества

для изготовления материалов и устройств», а также «ответственное и серьезное исследование возможностей нанотехнологий», включая создание самовоспроизводящихся наномашин, повышение интеллектуальных характеристик человека и т.п. [Congress, 2003: Section 5].

В целом можно отметить, что отношения между «нормальной» наукой (обозначая этим термином ученых, их мировое сообщество, а также планирующие и финансирующие организации и т.п.) и адептами молекулярных НТ представляют собой интересный объект исследований в области социологии науки[26].

2.2.3.3. *Отношение к идеям молекулярных НТ в контексте данной книги*

Отношение к идеям молекулярных НТ в данной книге определяется неким «принципом предупредительности», означающим, что к любым теориям, которые не противоречат законам природы, следует относиться серьезно и внимательно. Концепции такого типа могут игнорироваться только в том случае, когда они явно демонстрируют свою техническую несостоятельность. Поскольку до сих пор не установлено, насколько реализуемы идеи создания универсальных ассемблеров, самореплицирующихся и т.п., обсуждение проблем МНТ неизбежно принимает спекулятивный характер, вследствие чего их рассмотрение в книге постоянно выделяется в особые разделы.

2.3. Конвергенция (или возможное слияние) нано-, био-, информационных и когнитивных наук и технологий

Авторы наиболее общих футуристических концепций МНТ не ограничивают свою фантазию проектами создания универсальных ассемблеров, нанороботов, самовоспроизводящихся структур и т.п. По их представлениям, прогресс в области медицины, молекулярной биологии, генетики и протеомики в сочетании с новейшими достижениями электроники, робототехники и программного обеспечения должен привести к возможности биохимических манипуляций с клетками и генами, к созданию имплантируемых в мозг интерфейсов, сверхминиатюрных мощных компьютеров и даже искусственного интеллекта, превосходящего человеческий по уровню развития. Все перечисленные направления научно-технического прогресса отличаются взаимосвязью и способностью к синергизму (усилению взаимного

действия), что с особенной силой проявляется в процессе происходящего именно сейчас на уровне НТ-процесса конвергенции, слияния или объединения (этот процесс разные авторы по-английски называют convergence или merging) в единое целое нескольких разных научных дисциплин. В число этих наук входят прежде всего нанотехнологии, биотехнологии, информационные технологии и науки о познании (получившие даже в последнее время новое объединяющее название – когнитивные науки).

На высшем уровне планирования и финансирования исследований в США был проведен очень интересный и важный семинар (декабрь 2001 года) под названием «Слияние технологий, относящихся к повышению возможностей человека, – Нанотехнологий, Биотехнологий, Информационных технологий и Когнитивных наук», обозначение которого аббревиатурой NBIC приобрело широкую известность. Основанием для проведения этого ценного во всех смыслах семинара стал запрос межведомственного подкомитета в области нанонауки и ее инженерно-технических приложений (Nanoscale Science, Engineering and Technology, NSET), спонсируемого Национальным научным фондом (ННФ) и Министерством торговли [Roco and Brainbridge, 2003][28]. Шесть рабочих групп подробно обсудили различные проблемы, связанные с объединением или слиянием перечисленных выше четырех весьма обширных научных направлений, которое, по мнению многих специалистов, будет происходить в течение двух ближайших десятилетий (выше, в разделе 1.5.10 уже приводились рекомендации, выработанные рабочей группой по вопросам национальной безопасности). Кроме этого, в рамках семинара широко обсуждались смежные вопросы и перспективы процесса слияния этих наук в дальнейшем.

На семинаре были рассмотрены возможности реализации многих концепций и теорий молекулярных НТ, включая не только уже получившие известность универсальные молекулярные ассемблеры и самовоспроизводящиеся роботы, но и те, которые пока еще выглядят фантастическими. Список таких проектов является достаточно обширным и внушительным: полное описание процессов мышления и осознания действительности мозгом человека; значительное увеличение объема и эффективности человеческой памяти; создание на основе НТ имплантируемых органов; замедление процессов старения или даже возможность омоложения человеческого организма; разработка интерфейсов типа (мозг/мозг) или (мозг/ЭВМ); создание роботов и других устройств, обладающих хотя бы частичной индивидуальностью; возможность моделирования на компьютере соци-

альных процессов и управления такими процессами и т.д. В обсуждении упоминались также некоторые этические проблемы и опасности, связанные с реализацией некоторых идей, но, к сожалению, не состоялось систематическое рассмотрение проблем риска или предотвращения возможных последствий таких глобальных проектов.

2.4. Направления развития нанотехнологии

Нанотехнология, вообще говоря, охватывает чрезвычайно широкий класс наук и имеет очень много аспектов развития, вследствие чего НТ можно классифицировать по нескольким очень разным признакам и особенностям. Например, можно построить систему классификации НТ по степени сложности создаваемых структур, по наиболее близким научным дисциплинам, по методам производства, по предполагаемым применениям или даже по временной шкале прогнозируемого внедрения. В качестве примера можно привести табл. 2.3, в которой различные направления НТ систематизированы по степени сложности используемых и создаваемых структур, исходя из нарастающей размерности объектов.

Гораздо более сложным представляется классификация направлений НТ по их принадлежности к различным наукам, поскольку НТ являются сугубо междисциплинарной отраслью науки и техники, вследствие чего (при анализе явлений или при проектировании наноструктур) границы между различными научными дисциплинами становятся весьма неопределенными. Сказанное относится не только к наиболее фундаментальным наукам (физика, химия, биология, медицина, компьютерная техника), но и к их разделам и междисциплинарным направлениям, таким как механика, электроника, биохимия, генетика, нейрология, теория искусственного интеллекта и робототехника. В этом факте наглядно отражается описанная выше (раздел 2.3) тенденция к слиянию разных видов нанотехнологии, биотехнологий, информационных технологий и наук о познании. В табл. 2.4 приводится классификация некоторых направлений НТ в соответствии с общепринятым представлением о фундаментальных науках, а в табл. 2.5 – классификация НТ по основным способам промышленного производства.

Таблица 2.3. Классификация нанотехнологий по степени усложнения изучаемых и обрабатываемых объектов и возрастания их размерности (от точки то объемных элементов)

Класс объектов	Конкретные примеры и приложения
Гомогенные/периодические (объемные) структуры	
Нанопорошки, наночастицы в растворе	Краски, косметические кремы (от загара)
Нанотрубки, нанопроволоки	Углеродные нанотрубки
Простые слои и покрытия нанометрической толщины (например, получаемые адсорбцией из раствора, во многих случаях из молекул с заданной ориентацией, благодаря самоорганизации и т.д.)	Алмазные пленки на разнообразных поверхностях, монослойные покрытия в молекулярной электронике, защитные покрытия, солнечные батареи
Трехмерные слоистые структуры	Магнитные запоминающие устройства
Трехмерные периодические и случайные образования	Кристаллизованные белки, трехмерные устройства молекулярной записи информации
Сложные структуры	
Линейные цепочки	Информационные молекулы (например, ДНК)
Поверхностные структуры с незначительной глубиной	Новейшие микроэлектронные устройства, наномеханические устройства
Многослойные покрытия, получаемые различными методиками	Так называемые поверхностные лазеры с вертикальным резонатором (VSCEL)
Развитые трехмерные структуры, не обладающие способностью к самовоспроизведению или саморепликации	Манипуляции с ДНК, биомолекулярные компьютеры, наномашины
Развитые трехмерные структуры, обладающие способностью к самовоспроизведению (саморепликации)	Самовоспроизводящиеся нанороботы

Таблица 2.4. Связь различных научно-технических дисциплин с нанотехнологиями

Области научно-технических исследований	Изучаемые объекты и возможные приложения нанотехнологий
Физика	Аналитические и механические приборы и устройства; сканирующие зондовые микроскопы; оптические микроскопы ближнего поля; оптические «щипцы» Электронные, магнитные, оптические свойства наноструктур Наномеханика Самоорганизация структур и объектов
Химия/ Материаловедение	Частицы Покрытия Пористые материалы Дендримерные молекулы Нановолокнистые композиты Структуры на основе ДНК
Электроника	Литография с использованием оптических, электронных и ионных пучков Многослойные магнитные датчики Запись информации с помощью механических микрозондов Использование нанотрубок в качестве переключателей, проводников и т.п.
Биология	Анализ биомолекул Анализ клеточных процессов Биоминерализация Биологические моторы Биокомпьютеры
Медицина	Получение наночастиц с нанесенными на их поверхность антигенами/антителами/участками ДНК Использование наночастиц для оптической сигнализации о состоянии органов и тканей, применение магнитных наночастиц для выделения и нагрева отдельных участков тканей, преодоление иммунного барьера организма за счет переноса препаратов на наночастицах Создание и использование ДНК-чипов Создание биосовместимых материалов и веществ Использование имплантантов для контроля состояния организма и дозированнного ввода препаратов Создание и применение электродов, обеспечивающих контакт с мозгом и нервной системой

Таблица 2.5. Примеры производственных процессов, позволяющих получать наноматериалы

Получение частиц из газовой фазы (пламя, плазма)
Получение нанокомпозитов методами золь-гель
Оптическая литография, литография с применением электронных, ионных, атомарных пучков
Штамповка, молекулярное «впечатывание»
Самосбрка
Создание структур на поверхности при манипуляциях отдельными атомами и молекулами с использованием сканирующих зондовых микроскопов
Механосинтез (молекулярные нанотехнологии)

2.5. Нанотехнологические исследования и внедрение их результатов

Нанотехнологические разработки начали медленно осуществляться в большинстве развитых стран с начала 90-х годов, но уже примерно к концу столетия сложилось общее убеждение, что НТ обещают радикальные изменения во многих сферах научно-технической деятельности. Результатом такого признания стало возникновение и финансирование многих специализированных программ (разумеется, при этом значительную роль играл фактор международного соперничества).

В 1996 –1998 годах Национальный научный фонд (ННФ) США по заданию нескольких правительственных организаций и агентств провел собственное исследование состояния и тенденций развития нанонауки в разных странах (основная задача состояла в общей сравнительной оценке усилий и достижений США, Японии и Европы)[29]. Из шести изученных направлений развития нанотехнологии США и Япония лидировали в двух каждая, а в двух оставшихся областях первенство делили США и Европа (табл. 2.6).

Рост интереса к НТ привел в конце 2000 года к принятию известной Национальной нанотехнологической инициативы (ННИ)[30], после чего финансирование американских НИОКР в этой области стало стремительно возрастать. Ответной реакцией Японии и Европы стало соответствующее увеличение финансирования НТ-исследований, что побудило США к дополнительным расходам и т.д.[31] Рост финансирования НТ-исследований в разных странах наглядно демонстрируют данные табл. 2.7 и рис. 2.3 (распределение финансирования ННИ по различным правительственным агентствам США приведено ниже,

Таблица 2.6. Распределение приоритетов исследований в нанонауке и нанотехнологии в США, Японии, странах Западной Европы по данным [Siegel et al., 1999; xxi]

Область научно-технических исследований	Распределение приоритетов		
	1	2	3
Синтез и сборка	США	Европа	Япония
Биология и связанные с ней приложения	США/Европа	Япония	
Дисперсные системы и покрытия	США/Европа	Япония	
Материалы с развитой поверхностью	США	Европа	Япония
Наноустройства	Япония	Европа	США
Консолидированные материалы	Япония	США/Европа	

Таблица 2.7. Оценка правительственных расходов на нанотехнологические НИОКР в миллионах долларов по данным работ [Roco, 2001, 2003]. Приводимые оценки являются очень грубыми вследствие невозможности учета многих факторов (изменения валютного курса, несовпадение бюджетных годов в разных странах, разница между планируемыми и реальными расходами и т.п.). Данные по Западной Европе включают только страны Евросоюза и Швейцарию. Рубрика «Другие страны» включает данные по Австралии, Китаю, Канаде, странам бывшего СССР, Израилю, Корее, Сингапуру, Тайваню и т.д.

Страны	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Западн. Европа	126	151	179	200	~225	~400	~650
Япония	120	135	157	245	~465	~720	~800
США	116	190	255	270	465	697	774
Другие страны	70	83	96	110	~380	~550	~800
Всего	432	559	687	825	1535	2367	3024

в табл. 3.1 раздела 3.1.1.). В 2001 году нанотехнологические исследования начали или запланировали уже более тридцати правительств мира [Roco, 2001]. В табл. 2.8 перечислены пятнадцать стран, лидирующих по числу научных публикаций и патентов, связанных с НТ.

В Германии федеральное Министерство образования и науки финансировало работы в области НТ с начала 90-х годов, первоначально

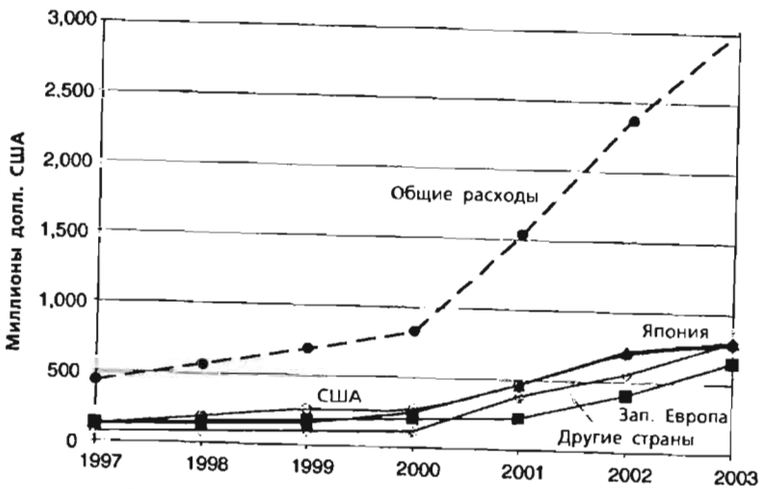


Рис. 2.3. Динамика роста правительственных расходов на развитие научных исследований и НИОКР в области нанотехнологии (см. табл. 2.7)

в соответствии с программой материаловедческих и физических технологий, а позднее – по другим программам. В 1998 году для централизации исследований и организации связей между учеными в области НТ были сформированы так называемые центры совершенствования (табл. 2.9), а в последующие годы финансирование НТ непрерывно возрастало (табл. 2.10). В 2001 году федеральное Министерство экономики и технологий выделило на эти цели примерно 6 миллионов евро, а общие расходы Германского исследовательского фонда (DFG) и других исследовательских организаций (оплаченные Министерством образования и науки, а также правительствами Федеральных земель) составили около 93 миллионов евро. По официально опубликованным данным, полный бюджет расходов на НТ составил в 2001 году 153 миллиона евро, а в 2002 году – около 198 миллионов евро [BMBF, 2002].

В статистических данных Евросоюза финансирование расходов на НТ скрыто в разных статьях расхода 4-й и 5-й Рамочных программ научно-технических исследований, технологического развития и демонстрации (1994–1998, 1998–2002). В 6-ю Рамочную программу (2002–2006) уже была введена специальная тематическая область под длинным названием «Нанотехнологии и нанонауки, многофункциональные материалы, новые производственные процессы и устройства», четырехгодичный бюджет которой составил 1,3 миллиарда евро

Таблица 2.8. Пятнадцать ведущих стран по количеству публикаций за 1997–1999 годы (слева) и числу патентов за 1991–1999 годы (справа), относящихся к нанотехнологиям, по данным работы [Compano and Hullmann, 2002]

США	США
Япония	ФРГ
ФРГ	Япония
Китай	Франция
Франция	Великобритания
Великобритания	Швейцария
Россия	Канада
Италия	Бельгия
Швейцария	Нидерланды
Испания	Италия
Канада	Австралия
Южная Корея	Израиль
Нидерланды	Россия
Индия	Швеция
Швеция	Испания

Таблица 2.9. Тематика нанотехнологических исследований в центрах, создаваемых федеральным Министерством по образованию и науке ФРГ (BMBF) с 1998 года. В 2002 году численность персонала в каждом из таких центров составляла от 53 до 113 человек [BMBF, 2002]

Создание наноструктур
Нанооптоэлектроника
Нанохимия
Создание сверхтонких функциональных слоистых структур
Наноаналитические методы
Сверхточная механическая обработка поверхностей
Нанотехнологические материалы

Таблица 2.10. Объемы финансирования нанотехнологических исследований федеральным Министерством по образованию и науке ФРГ (BMBF) с 1998 по 2003 год (в миллионах евро) [BMBF, 2002]

	1998	1999	2000	2001	2002	2003 (проект)
Совместные проекты	27,0	31,1	32,7	52,0	86,7	110,6
Развитие создаваемых министерством центров	0,6	1,6	2,1	2,1	1,8	1,5
Всего	27,6	32,7	34,8	54,1	88,5	112,1

[EU FP6 NMP, 2003]. Из этой суммы примерно 25–30% предназначаются НТ, не считая расходов на исследования НТ, связанных с другими крупными тематическими разделами (науки о жизни, информатика и т.д.), что дает общую цифру 700 миллионов евро (на четыре года), соответствующую ежегодному финансированию в размере 175 миллионов евро [Roman, 2002]. Европейская ассоциация нанобизнеса опубликовала официальные данные по некоторым программам Евросоюза, из которых видно, что около 30 % расходов имеют какое-либо отношение к НТ, что позволяет даже несколько повысить оценку годового финансирования НТ-исследований и считать его равным 850 миллионов евро [Roman, 2002][32].

Конечно, официальные данные отражают лишь часть затрат на НИОКР в области нанотехнологий, но они могут служить основой для более полной оценки, учитывающей и долевое участие в финансировании, и дополнительные вложения. Например, для Евросоюза размер дополнительно вложенных средств составляет около 700 миллионов евро в год [Roman, 2002]. Кроме того, статистика не учитывает, что многие предприятия и фирмы (особенно крупные межнациональные корпорации) часто проводят значительные по масштабу НИОКР в этой области совершенно самостоятельно, а затем вкладывают капиталы в венчурные (так называемые «стартующие») компании по производству НТ-изделий или материалов.

2.6. Ожидаемый объем рынка НТ

Правительства и промышленные круги ожидают бурного роста объемов рынка НТ-товаров, материалов и устройств. По предположениям представителей руководства ННИ, особенно быстро в течение ближайших 10–15 лет будут развиваться перечисленные ниже секторы рынка (некоторые из возможных приложений перечислены в разделе 1.4) [Roco and Bainbridge, 2001: 3, 4]:

- наноструктурные материалы и процессы: 340 миллиардов долл./год;
- электроника: 340 миллиардов долл./год;
- фармацевтические препараты: 300 миллиардов долл./год;
- химическое производство: 180 миллиардов долл./год;
- аэрокосмическая промышленность: 70 миллиардов долл./год.

Таким образом, мировой рынок НТ-товаров должен возрастать в указанный период со скоростью более 1 триллионна долларов в год.

ГЛАВА 3

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОЕННЫХ РАЗРАБОТОК В ОБЛАСТИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

Еще несколько лет назад научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки (НИОКР) в области чисто военных приложений нанотехнологий были достаточно скромными по размаху и в основном просто осуществлялись параллельно с исследованиями в мирных целях или даже выглядели их следствием. Преимущество в исследованиях (как и во многих других областях науки и техники) принадлежало и принадлежит Соединенным Штатам, и именно США в последние годы резко увеличили объем военных НИОКР в этой области, после чего их примеру последовали и некоторые другие страны. Американские разработки являются не только наиболее характерными и масштабными, но и наиболее прозрачными (по крайней мере, в пределах публикуемых данных), вследствие чего они и представлены ниже (раздел 3.1) достаточно подробно. Собранная в разделе 3.2 информация о положении дел в других странах гораздо скромнее по объему и содержанию, а в разделе 3.3 предлагается лишь попытка какого-то обобщения и сравнения доступных данных по всему мировому сообществу.

3.1. Нанотехнологические разработки США

Министерство обороны США проявило интерес к военно-техническим исследованиям в области НТ более двадцати лет назад в связи с бурным развитием микроэлектроники. Уже в начале 80-х годов началось осуществление некоторых программ, нацеленных на снижение

характерного размера элементов электронных схем до уровня ~ 1 мкм, а в конце 80-х годов уже были созданы первые образцы сканирующих зондовых микроскопов, ставших позднее основным инструментом проведения НИОКР для военных приложений. В 1996 году «нанонаука» была внесена в список шести стратегических направлений научно-технических исследований в области обороны[1], в 1997 году Министерство обороны США затратило на такие исследования около 32 миллионов долл. из общей суммы затрат Правительства на эти цели 116 миллионов долл. [Roco, 1999][2], а уже в 1999 году расходы Министерства на нанонауку и НТ составили около 70 миллионов долл. (из которых 50 миллионов долл. было выделено на развитие наноэлектроники). Финансирование осуществляется через следующие лаборатории Министерства: 1) Управление перспективных военных исследований и разработок Министерства обороны (DARPA); 2) Исследовательская лаборатория сухопутных сил (ARL); 3) Исследовательская лаборатория военно-морских сил (NRL); 4) Исследовательская лаборатория военно-воздушных сил (AFRL). Кроме этого, отдельно финансируются также программы мультидисциплинарных университетских исследований (см. ниже раздел 3.1.15) [Murday, 1999].

3.1.1. Финансирование военных исследований и разработок в рамках ННИ

Сразу после принятия в 2000 году известной Национальной нанотехнологической инициативы (ННИ) Министерство обороны США стало получать значительную долю выделяемых на нее ассигнований. В рамках ННИ доля МО составляет примерно около четверти, вследствие чего это министерство почти постоянно занимает второе место в списке финансирования НТ по министерствам и агентствам, уступая только Национальному научному фонду (National Foundation Fund, NNF), что легко заметить по данным таблицы 3.1 и рис.3.1.

В табл. 3.2 указанные расходы Министерства обороны на нанотехнологические исследования разбиты по трем позициям: фундаментальные исследования (категория 6.1, в соответствии с принятой в Министерстве классификацией относящиеся к НИОКР), прикладные исследования (категория 6.2) и перспективные технологии (категория 6.3). Из приведенных в таблице данных видно, что в первый год финансирования большая часть выделенных средств была затрачена на фундаментальные исследования, а в дальнейшем их доля снизилась до 45 %, после чего совместные затраты на прикладные разра-

Таблица 3.1. Финансирование исследований в рамках ННИ (начатой в 2000-м бюджетном году) по различным министерствам и правительственным агентствам США в миллионах долларов (от 2000 по 2002 год – реальные затраты; 2003 год – выделенные средства; 2004 год – запрошенные средства), по данным работы [Roco, 2003, NNI, 2003; 5–8]. В программах инициативы (без финансирования НИОКР) участвуют также Государственный департамент, Министерство транспорта, Министерство финансов, Управление по продуктам питания и лекарственным препаратам, разведывательные организации

	Год				
Агентство	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**
Национальный научный фонд	97	150	204	221	249
Министерство обороны	70	125	224	243	222
Министерство энергетики	58	88	89	133	197
Национальный институт здоровья [а]	32	40	59	65	70
Национальный институт стандартов и технологии[б]	8	33	77	66	62
НАСА	5	22	35	33	31
Управление по охране окружающей среды	–	6	6	5	5
Министерство безопасности[в]	–	–	2	2	2
Министерство сельского хозяйства	–	1,5	0	1	10
Министерство юстиции	–	1,4	1	1	1
Полный объем финансирования в рамках ННИ	270	465	697	770	849

Примечания:

а – Министерство здравоохранения;
б – Министерство торговли;
в – Управление безопасности транспортных средств.

ботки (6.2) и перспективные технологии (6.3) возросли до 55 %. При анализе приведенных показателей следует учитывать, что в табл. 3.2 не включены пока весьма незначительные затраты по другим категориям классификации Министерства, а именно расходы по позициям 6.4 (демонстрация и юридическое оформление), 6.5 (развитие техно-

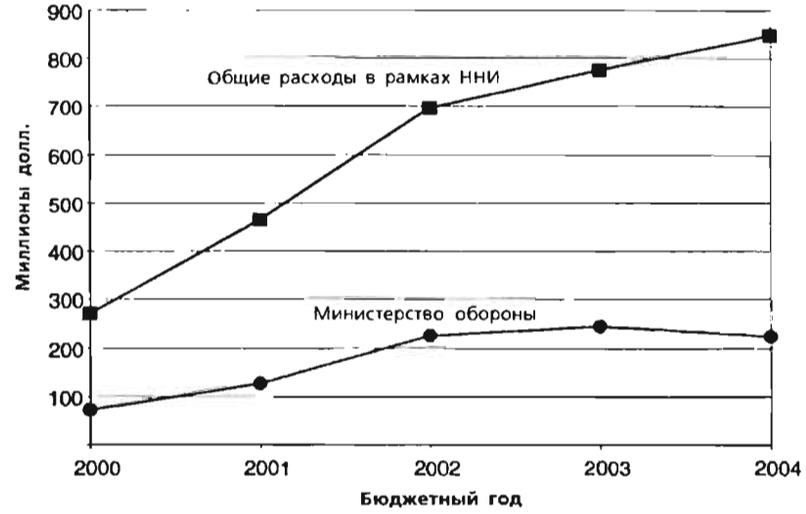


Рис. 3.1. Финансирование исследований в рамках ННИ и отдельно по Министерству обороны (см. также табл. 3.1)

Таблица 3.2. Расходы различных ведомств Министерства обороны США на нанотехнологические исследования в рамках ННИ по категориям 6.1 (фундаментальные разработки), 6.2 и 6.3 (прикладные разработки и перспективные технологии) в миллионах долларов, по данным работы [Roco, 2002]

	2001 г. (фактически)		**2002 г. (план)**		**2003 г. (запрос)**	
Ведомство	**6.1**	**6.2/6.3**	**6.1**	**6.2/6.3**	**6.1**	**6.2/6.3**
DUSD *	36	–	26	–	28	–
DARPA	28	12	9	88	11	90
Лаборатории сух. сил	6	–	118	2	18	5
Лаборатории ВВС	6	4	8	7	13	5
Лаборатории ВМС	31	–	21	1	26	5
Всего	106	166	82	98	96	105

* DUSD – Управление заместителя министра обороны по научным исследованиям.

логий и производства), 6.6 (поддержка менеджмента) и 6.7 (развитие операционных систем). Эти расходы относятся уже к этапам создания новых продуктов и изделий, а также их дальнейшему использованию, распространению или модификации [Moteff, 1999].

Одна из статей расхода по программе ННИ относится к созданию так называемых центров совершенствования (см. табл. 3.3). Министерство обороны уже организовало три таких центра: Институт армейской нанотехнологии при Массачусетском технологическом институте (см. раздел 3.1.6), Институт нанонауки при NRL (Naval Research Laboratory, NRL) и Инновационный центр оборонных исследований USCB (см. подробнее в разделе 3.1.7). Кроме того, в рамках программ ННИ созданы также 11 центров для исследований в гражданских областях нанонауки и техники. Семь таких центров организовано Национальным научным фондом и четыре – НАСА [NNI, 2003: 34].

Необходимо также учесть расходы, внесенные в документ под названием Приложение к бюджету 2004 года, начинающийся с перечня правительственных организаций, размеры финансирования которых Правительством США обычно не указываются (вследствие чего эти расходы и не включаются в официальные отчеты о затратах по программам ННИ). Однако в Приложении указываются целевые программы, связанные с интересующими эти организации разработками (см. табл. 3.3). Из общих соображений можно заключить, что финансируемые исследования относятся к созданию микродатчиков и микроботов для прослушивания и слежки.

Таблица 3.3. Разработки в рамках ННИ, связанные с задачами разведывательных ведомств Правительства США [NNI, 2003]

Статьи расходов	Интересы и задачи разведывательных ведомств
1 *Фундаментальные нанотехнологические исследования. Производство знаний*	Общие задачи национальной безопасности
2. *Основные направления исследований в рамках ННИ*	
Создание наноструктурных материалов с заданными свойствами	Использование материалов с заданными свойствами в различных новых устройствах
Создание нанотруктур	Создание прототипов функциональных наноустройств

Таблица 3.3. *Окончание*

Статьи расходов	Интересы и задачи разведывательных ведомств
Изучение возможностей создания новых типов детекторов химических, биологических, радиологических и взрывчатых веществ (и средств защиты от таких веществ)	Создание датчиков для регистрации химических, биологических, радиологических и взрывчатых веществ
Создание приборов и инструментов для нанотехнологических исследований. Метрология	–
Наноэлектроника, нанофотоника, наномагнетики	Развитие молекулярной электроники и систем связи
Медицина, здравоохранение, диагностика	–
Аккумулирование и преобразование энергии	Создание новых типов источников питания и преобразования энергии
Микроустройства и робототехника	Создание новых типов автоматических систем и роботов
Использование нанотехнолоии для защиты окружающей среды	–
3. Центры совершенствования	–
4. Создание инфраструктуры	–
5. Социальные программы, подготовка персонала и т.п.	–

3.1.2. Финансирование нанотехнологических НИОКР Управлением перспективных военно-исследовательских проектов (DARPA)

3.1.2.1. Обзор программ и объемов их финансирования

Внутри Министерства обороны США основную часть финансирования по линии ННИ получает Управление перспективных военно-исследовательских проектов (DARPA), разработки которого относятся в основном к прикладным исследованиям (категория 6.2) и перспективным технологиям (категория 6.3). Довольно сложно выделить из программ DARPA именно те, которые непосредственно связаны с ННИ, поэтому для обзора и оценки соответствующих расходов автору книги пришлось тщательно проанализировать двухгодичный сбор-

ник планируемого бюджета этого Управления на 2004–2005 годы [DARPA Budget, 2003]. Этот 423-страничный документ состоит из «отчетных листов», содержащих сведения об отдельных программах по так называемой системе RDT&E (Research, Development, Test & Evaluation, Исследования – разработка – испытания – оценка), а также краткие общие пояснения относительно основной идеи каждой программы. Без учета работ, относящихся к административному управлению производством, документ содержит сведения о 313 программах (которые можно в соответствии с характеристиками механизма финансирования сгруппировать по трем основным категориям), о 13 составных элементах (макропрограммах)[3] и о 48 проектах. Для выделения финансовых данных за 2003 год пришлось провести сложный анализ бюджетной документации за более широкий период (2002–2005 годы). Кроме упомянутых работ по административному управлению, не учитывались работы, завершенные к 2003 году. Многие из программ выполняются большим числом организаций-подрядчиков. В таблице использованы обозначения системы RDT&E (BA1 – фундаментальные исследования, BA2 – прикладные исследования, BA3 – технологии и НИОКР). Для макропрограмм (программных элементов) приводится общий объем планируемого финансирования (в некоторых случаях до 2009 бюджетного года). В табл. 3.4 перечислены программы, входящие в указанные 13 составных программ, и приведены данные по их финансированию на 2003 бюджетный год, а также число проектов в каждой из них.

При написании данной книги автор выделил все статьи финансирования упомянутых «отчетных листов» с точки зрения их отношения к нанотехногии и разбил все исследования (с учетом этого отношения) на две большие группы. К первой группе (которую можно назвать нанотехнологической в узком смысле) были причислены исследования, непосредственно связанные с НТ, а ко второй (которую можно назвать нанотехнологической в широком смысле) – программы, относящиеся к многочисленным смежным дисциплинам и задачам. Такое разделение представляется естественным в свете неоднократно отмечавшегося междисциплинарного и общего характера НТ (к смежным дисциплинами относятся, например, биология, теория искусственного интеллекта, наука о сознании, робототехника и т.д.). В названиях и текстах некоторых исследований и проектов второй группы нанотехнология даже не упоминается, но их учет обусловлен потенциальными возможностями в ближайшем или близком будущем. Во многих случаях, возможно, использование НТ будет косвенным и

сведется, например, всего лишь к моделированию процессов на новых, сверхмощных компьютерах. Конечно, предложенное разделение является поверхностным и упрощенным, не говоря уже о том, что при этом не учитываются некоторые программы, связанные с нанотехнологией реально. В подробной таблице (см. Приложение 1) перечислены все относящиеся к НТ (как в узком, так и в широком смысле) программы DARPA, а также объемы их финансирования на 2003 бюджетный год. Число таких программ соответствует последней колонке табл. 3.4. Поскольку во многих случаях составные программы (например, относящиеся к созданию наноструктурных материалов или микроспутников) связаны с НТ одновременно по нескольким составляющим, общая оценка расходов на эти цели по предлагаемой схеме должна оказаться несколько завышенной.

Связанные с нанотехнологией программы были обнаружены в одиннадцати из тринадцати составных программ. Из 313 программ DARPA к нанотехнологии в узком смысле были отнесены лишь 36 программ (а в широком смысле – 56 программ). Для этих групп финансирование из бюджета равнялось 468 миллионам долл. и 547 миллионам долл. соответственно, что эквивалентно 17 % и 20 % общего бюджета DARPA (примерно 2,69 миллиарда долл.). Отметим, что приведенные цифры значительно превышают официально заявленные общие объемы финансирования разработок DARPA (около 101 миллиона долл.) и Министерства обороны США, указанные выше в табл. 3.1 и 3.2. Возможно, что расхождение связано с двумя следующими факторами: (1) расходы по смешанным разработкам в составных программах включают в себя и финансирование не связанных с НТ работ и/или (2) не все нанотехнологические разработки DARPA осуществляются в рамках ННИ и учитываются статистикой ее руководства. Глубину и размах связанных с нанотехнологией и финансируемых DARPA разработок иллюстрируют некоторые описанные ниже программы.

3.1.2.2. Программы DARPA, непосредственно связанные с нанотехнологией

Электроника/Вычислительная техника. Четыре программы входят в состав комплексного исследования Advanced Lithography, посвященного методам изготовления микроэлектронных и иных структур с размерами элементов менее 50 нм [DARPA Budget, 2003: 277–279]. Кроме этого, к НТ могут быть отнесены некоторые направления ис-

Таблица 3.4. Структура финансирования нанотехнологических исследований в широком и узком смысле этого термина (см. текст) в рамках 13 элементов (макропрограмм) DARPA. В таблице указано число входящих в элементы программ и проектов, объемы финансирования (в миллионах долларов). Исследования разбиты на три большие категории в соответствии с принятой классификацией. Итоговая сумма округлена с учетом возможных ошибок.

Категория финансируемых исследований	Элементы (макропрограммы)	Финансирование из бюджета в 2003 г. (милл. долл.)	Число проектов	Число программ в элементе	Программы, связанные с НТ			
					В узком смысле		В широком смысле	
					Число программ	Финансирование (млн. долл.)	Число программ	Финансирование (млн. долл.)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Фундаментальные исследования BA1	Оборонные технологии	199	4	26	15	136	2	36
Прикладные исследования BA2	Информационные технологии, вычислительная техника	409	9	58	0	0	16	153
	Программное обеспечение и методы вычислений	59	3	6	0	0	3	27
	Методы борьбы с биологическим оружием	162	1	12	1	37	1	5

Таблица 3.4. *Окончание*

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Тактические (специальные) технологии	170	6	40	0	0	8	27
	Технологии, связанные с электроникой и материаловедением	434	5	49	12	188	3	59
Технологии и НИОКР ВАЗ	Аэрокосмические системы	235	2	22	1	40	8	141
	Электронные технологии	159	5	36	7	68	2	13
	Системы управления и связи	117	3	23	0	0	3	4
	Датчики и системы наведения на цель	217	4	19	0	0	0	0
	Технологии для военно-морского флота	36	1	4	0	0	0	0
	Технологии для проведения наземных операций	166	3	12	0	0	3	82
	Программы «классификации»	288	?	?	?	?	?	?
	«Сетевые» технологии	0	2	6	0	0	2	0
	Штабное управление	42	(1)	(1)	–	–	–	–
	Всего	2690*	48	313	36	465	51	547

следований в области создания компьютеров на принципиально новой основе, в число которых входят две программы, посвященные изучению новых материалов для спинтроники, т.е. устройств типа спиновых транзисторов и спиновых логических элементов [Spin Dependent Materials and Devices, Spin Electronics, DARPA Budget, 2003: 22, 23]. Программа Molectronics (молекулярная электроника) нацелена на создание комбинированных устройств из молекул, нанотрубок, нанопроводов и т.д. В программе Molecular Computing изучаются возможности использования молекулярных компонентов в качестве логических и запоминающих устройств, объединенных в единое целое. Авторы намерены создать действующую модель процессора (последовательная логическая вычислительная машина с конечным числом состояний), способного к интерпретации простых языков программирования высокого уровня [DARPA Budget, 2003: 231–232; DARPA Mole, 2003]. В программе Interfacing Nanoelectronics [DARPA Budget, 2003: 213, 214] предлагается исследование новых возможностей сопряжения систем в нанометрическом масштабе (это направление можно назвать наноэлектроникой поверхностей раздела).

Высокоспециализированная программа Nanomechanical Array Signal Processors посвящена изучению возможностей обработки радиочастотных сигналов с использованием решетки (матрицы) из 1024 нанорезонаторов, что позволит создать сверхкомпактные (размером с наручные часы) информационные СВЧ-приемники или даже приемные устройств для навигационных систем управления типа известной GPS [DARPA Budget, 2003: 291, 292]. В программе Chip-Scale Atomic Clock предлагается использовать сочетание нанорезонаторов с устройствами, изготовленными методами фотоники и микросистемной техники. Используя помещенные в микрополости атомы щелочных металлов, авторы проекта хотят создать высокоточные атомные часы (относительная точность $\pm 10^{-11}$ сек) с объемом менее 1 $см^3$ [DARPA CSAC, 2003], позволяющие организовать высокоэффективные и помехоустойчивые каналы связи даже при очень малых размерах передатчиков.

Особым разнообразием отличаются проекты, связанные с материаловедением. Например, в весьма обширной программе Structural Materials and Devices, посвященной конструкционным материалам и устройствам [DARPA Budget, 2003: 197, 198], предлагается целый ряд НИОКР дешевых методов синтеза, производства и сборки наноматериалов и нанотрубок с заданными характеристиками. В другой столь же масштабной программе по функциональным материалам и устройствам Functional Materials and Devices [DARPA Budget, 2003: 200, 201], связанной с новейшими разработками в создании функциональных полимеров и электронике, предполагается разработать новые методы синтеза обширного класса необычных веществ. Речь идет об электропроводящих полимерах (для аналоговых вычислительных машин), так называемых электроактивных полимерах (для конструирования дисплеев и «мышц» или приводов в робототехнике), разнообразных материалах магнитной и микроволновой техники (ферриты, нанокомпозитные ферроэлектрики, магнетодиэлектрики, оптические среды с отрицательным коэффициентом преломления) и т.п. Кроме этого, проект предполагает исследования в области новейших функциональных материалов (относящихся к проводникам, пьезоэлектрикам и т.д.), включая волокнистые структуры для так называемых тканных электронных материалов (electronic textiles).

Многие из перечисленных программ прямо или косвенно связаны с бурно развивающейся наукой, которую можно назвать нанобиологией. Например, программа Nanostructure in Biology посвящена исследованию наноструктурных магнитных материалов, а также их использованию для изучения и даже управления процессами в биологических молекулах и клетках. В аналогичных программах предлагается разработка биосовместимых нанометрических «меток», датчиков и «пинцетов». Кроме этого, планируется создать новые типы микроскопов, например магниторезонансные атомно-силовые микроскопы с кронштейнами (их называют иногда кантилеверами или консолями). Такие устройства позволят довести разрешение получаемых изображений и спектроскопических измерений до уровня отдельных атомов, что станет принципиально новым шагом в изучении молекулярных структур на нанометрическом уровне [DARPA BioMagnetICs, 2003; DARPA MOSAIC, 2003; DARPA Budget, 2003: 10–12].

Программа Simulation of Biomolecular Microsystems (Моделирование биомолекулярных микросистем) имеет целью упрощение стандартных методик анализа и даже, возможно, создание интегрированных биохимических микросистем, что позволит наконец моделировать и иллюстрировать так называемые механизмы «молекулярного распознавания», а также описывать такие процессы в виде некоторых наборов электрических и механических сигналов. Идея программы заключается в изучении и использовании сложных систем, включающих в себя нанопоры, микро/наноразмерные кантилеверы или кронштейны, наночастицы и даже соответствующие им процессы гидродинамичес-

кого и молекулярного переноса на нанометрическом уровне рассмотрения [DARPA SIMBIOSYS, 2003; DARPA Budget, 2003: 7, 8].

Программа Bio Futures относится к изучению возможностей биологического моделирования вычислительных процессов на основе сопряжения или сочетания (создания интерфейсов) электронных и биологических систем и структур. В принципе, такой подход обещает в будущем возможность создания коммуникационных каналов диаметром всего ~ 2 нм, позволяющих организовать параллельную обработку информации, поступающей от биомолекул и микрогидродинамических устройств. Развитие таких комбинированных методик, возможно, даже позволит затем выделять отдельные эмбрионы насекомых, а также изучать (используя, например, решетки кронштейнов с полевыми транзисторами) параметры процессов, протекающих в изолированных биологических клетках. Программа предполагает также построение алгоритмов, позволяющих анализировать электрические импульсы нейронных сигналов, регулирующих клеточную активность и дифференциацию тканей в эмбрионах [DARPA Budget, 2003: 8, 9].

В программах DARPA содержится еще несколько необычных вариантов использования наноструктурных материалов. Например, их предполагается использовать для создания линз с переменным коэффициентом преломления, построенных по принципам работы оптической системы биологических организмов. В таких линзах будут применяться вещества, напоминающие те, из которых состоят органы зрения животных, что позволит имитировать работу глаза человека, который способен изменять коэффициент преломления хрусталика и за счет этого регулировать поле зрения [программа Bio-Optic Synthetic System, DARPA BOSS, 2003]. Еще в одном проекте рассматривается возможность использования уже обнаруженных биомолекулярных «двигателей» или моторов, позволяющих осуществлять внутри биологических тканей линейные или вращательные смещения молекул на нанометровом уровне (за счет использования энергии химических реакций). Программа предлагает изучение свойств таких двигателей и их применение в различных измерительных устройствах. Гибридные биомеханические двигатели такого типа могут стать реальным средством «транспортировки» материалов и жидкостей в диапазоне масштабов от макро- до нанометров, что позволит разделять, унифицировать и использовать в дальнейшем требуемые микроколичества таких веществ в различных технологических процессах [программа Biomolecular Motors, DARPA Biomolecular, 2003].

В рамках программы Biological Adaptation, Assembly and Manufacturing планируется исследование адаптации живых клеток к очень суровым условиям выживания. Целью работы является использование специфических генов для повышения устойчивости клеток и тканей организма (включая тромбоциты и красные кровяные тельца), а также подавление их метаболизма при различных повреждениях. В рамках программы будут изучены также процессы «сборки» или создания костных, оболочечных, кожных и других тканей в виде наномасштабных биомолекулярных сеточных структур [DARPA Budget, 2003: 9, 10].

Разнообразная комбинация исследований и НИОКР программы Biological Warfare Sensors включает в себя конкретную нанотехнологическую задачу изготовления миниатюрного диагностического набора. Такой набор будет содержать требуемые образцы антител и даже «специально сконструированных малых молекул», предназначенных для специфического связывания заданных биологических агентов (типа бактерий сибирской язвы, вирусов оспы, токсинов и т.п.). Система включает в себя также бактериальный биочип, позволяющий быстро идентифицировать образцы без использования известной полимеразной реакции синтеза цепи (polymerase chain reaction, PCR) [DARPA Budget, 2003: 133–137].

3.1.2.3. Программы DARPA, примыкающие к нанотехнологии

Как уже отмечалось, некоторые другие программы DARPA могут быть отнесены к НТ условно, поскольку в них нанотехнологии используются лишь в побочных целях или только запланированы к использованию при дальнейших исследованиях. Во многих программах нанотехнологии или созданные на их основе устройства применяются только для побочных целей (чаще всего в программах планируется использование миниатюрных компьютеров, датчиков, наноматериалов и/или механических наноприводов и т.п.). При этом разработки с использованием нанокомпьютеров обычно относятся к программам создания искусственного интеллекта, а наноматериалы и микроскопические механические устройства авторы планируют применять в робототехнике. Кроме этого, в биологических (и особенно в биомолекулярных) исследованиях все шире предлагается использовать разнообразные устройства и манипуляторы нанометровых размеров.

Особое положение занимает программа Quantum Information Science and Technology, целью которой является развитие теории и

технических средств (hardware) для создания логических, запоминающих и вычислительных устройств, а также безопасной передачи данных по коммуникационным системам [DARPA QuIST, 2003]. Эта программа связана с нанотехнологиями очень тесно, но их применение имеет всегда лишь сопутствующий или вспомогательный характер, например при использовании полупроводниковых наноструктур для создания квантово-механических точек (электронных состояний), источников или детекторов одиночных фотонов и т.п.

Некоторые из программ DARPA, относящихся к искусственному интеллекту и когнитивистике (науке о познании), поражают смелостью и размахом замыслов. Чаще всего они не имеют прямого отношения к нанотехнологии (по крайней мере, она не упоминается в заголовках проектов), но выполнение этих программ неявно подразумевает в будущем совершенно невиданный рост возможностей компьютеров, что косвенно связывает их с разнообразными вариантами использования нанотехнологий. В качестве характерных примеров можно привести несколько выдержек из программ этого типа.

«Создание автоматической системы, в которой отсутствует так называемый человеко-машинный интерфейс (интерфейс пользователя), однако взаимодействие в системе человек–машина осуществляется совершенно «нормально» и естественно, практически напоминая обычное общение (включая антипатию, творческое взаимодействие, диалог, жестикуляцию и т.п.) между разными людьми при совместной работе».

Программа Augmented Cognition [DARPA AugCog, 2003]

«Разработка программного обеспечения, необходимого для автономной деятельности одиночного, подвижного робота в изменяющемся и непредсказуемом окружении, свойства которого известны роботу лишь частично. При отсутствии связи такой робот не должен нуждаться ни в дистанционном управлении со стороны человека-оператора, ни в надежном и быстродействующем канале связи с управляющим центром».

Программа Mobile Autonomous Robot Software [DARPA MARS, 2003]

«Создание нового класса вычислительных устройств, которые можно называть «познающими вычислительными системами» (Cognitive Computing Systems), способными размышлять, изучать и разумно оценивать факты и события, которые не были ранее введены в программу и не учитывались заранее. Для этого компьютерам должны быть приданы совершенно новые, уникальные способности, позволяющие не только воспринимать и понимать окружающий их мир, но осознанно анализировать результаты своего восприятия».

Программа Knowledge Representation and Reasoning [DARPA Budget, 2003: 29, 30]

Конечно, решение таких грандиозных задач может потребовать десятков лет напряженных исследований, успех которых может оказаться весьма ограниченным. В настоящее время нам остается лишь гадать, произойдет ли когда-нибудь реальное «слияние» автономных устройств, программного обеспечения и человека в единое целое, которое (по мнению авторов одного из проектов) станет «революцией, преобразующей все известные нам структуры вооруженных сил» [DARPA Budget, 2003: 101]. Возможно, такая задача будет рассматриваться специалистами примерно через двадцать лет.

Несколько программ относится к созданию и развитию автономных средств передвижения, транспортных устройств и роботов. Например, для будущей системы Future Combat Systems предлагается развитие и испытание программы Perception for Off-Road Robotics, в которой используются революционные подходы (новые виды аппаратного обеспечения, алгоритмов поведения и т.п.). Такие автоматические системы будут способны не только к восприятию окружения и погодных условий, но и к осуществлению заданных операций на поле боя, включая даже организацию коллективных действий [DARPA Budget, 2003: 355–361]. Другие предлагаемые автоматические системы (например, программа Tactical Mobile Robotics) предполагают создание «команды» из полуавтономных роботов для наземных войск [DARPA Budget, 2003: 341–345], а программа Learning Perception & Control – разработку автономного программного обеспечения для специальных «навигационных» роботов, способных не только понимать новые задачи, но и адаптироваться к новым условиям окружения [DARPA Budget, 2003: 57–71]. В программе Unmanned Ground Combat Vehicle предполагается изучить и довести до прототипов или испытательных образцов разнообразные наземные транспортные средства, обладающие улучшенными характеристиками по сравнению с существующими. Речь идет в первую очередь о надежности, способности преодолевать препятствия и возможности переброски на дальние расстояния (программа посвящена устройствам небольших размеров), а также об использовании не только традиционных механизмов движения (колеса, гусеницы), но и принципиально новых (шагающие или ползающие механизмы и т.п.) [DARPA Budget, 2003:

394–397]. Примерно такие же задачи пытаются решить авторы проекта по разработке беспилотных воздушных транспортных устройств (включая так называемые автожиры) для совместных операций различных родов войск [DARPA Budget, 2003: 239–247]. Общему планированию операций, а также оценке и контролю действия распределенных боевых средств (типа беспилотных и автономных авиационных устройств) посвящена программа Mixed Initiative Control of Automa-Teams [DARPA Budget, 2003: 58–73].

Несколько проектов относятся к разработке малых роботов и микророботов. Например, в программе Eyes-On («бдительность») предлагается достаточно фантастический проект создания летательных микроустройств, запускаемых с борта самолета и позволяющих летчику получать информацию о распределении целей в реальном масштабе времени, учитывать опасности и оценивать эффективность собственных действий, координируя свои действия в зоне прямой радиосвязи устройств с самолетом. При более усложненном варианте использования такие устройства смогут совершать облет требуемой территории и самостоятельно (и даже произвольно) выискивать цели для бомбометания и наводить боеголовки [DARPA Budget, 2003: 188]. Специальная программа Urban Robotic Surveillance System предлагается для решения весьма распространенных сейчас задач оперативного управления боевыми действиями внутри городских систем и застроек (например, операции в подземных коммуникационных системах, замкнутых помещениях и т.п.). Программа, естественно, включает в себя также разработку датчиков разного типа, например на воздушных или наземных платформах-носителях, с разнообразной системой энергоснабжения и т.п. [DARPA Budget, 2003: 189]. Хотя авторы программы даже не упоминают термин «микророботы», однако их использование с очевидностью вытекает из описания заявленных в программе боевых операций для работы в указанных специфических обстоятельствах (типа выявления и очистки маршрутов следования, защиты флангов, расчистки туннелей, разведывательных и охранных действий т.п.). В этой связи примечательно, что одна из других заявленных программ (Common Software for Autonomous Robotic) предполагает разработку программного обеспечения координированных действий именно очень большого числа миниатюрных устройств, причем управление таким «роем» микророботов (в качестве единого целого) должно осуществляться человеком-оператором [DARPA Budget, 2003: 12–122].

Для боевых действий в космосе программа Space Assembly and Manufacture предлагает создание очень больших по размеру (но очень

легких по весу) космических структур, а также разработку микроспутников и микророботов, способных анализировать свойства и состав внеземных объектов. В дальнейшем, естественно, речь пойдет о переработке материалов и выработке энергии из подходящих источников [DARPA Budget, 2003: 264].

Из разработок DARPA в области *биологии* к нанотехнологии относится прежде всего обширная программа Controlled Biological and Biomimetic Systems по исследованию и управлению основными функциями живых организмов [DARPA CBS, 2003]. Авторы планируют исследовать взаимодействия между животными (animals) и так называемые «аниматами» (animats – искусственные животные), используя интерфейсы и коммуникационные связи разного типа (одно- и двунаправленные). Включенные в программу проекты разбиты на три большие группы, озаглавленные Vivisystems, Hybrid Biosystems и Biomimetics. Первая группа проектов относится к исследованию поведения насекомых и их возможному использованию в качестве «часовых» (т.е. датчиков обнаружения) для регистрации наличия определенных химических и биологических препаратов. Две другие группы проектов связаны с использованием вводимых в мозг животных электродов. В первой из них электроды вживляются непосредственно в мозг обезьян, а снимаемые с них электрические сигналы подаются в мышечную (моторную) систему другого животного либо применяются непосредственно для управления «конечностями» робота. В других проектах сигналы от электродов (вживленных в мозг крыс) используются для управления поведением животных иных видов (см. ниже раздел 4.1.17). В проектах последней группы, отличающихся большим разнообразием, предполагается исследование проблем стабилизации полета птиц, создание искусственных «мускулов» и изучение биомиметических характеристик микророботов, некоторые из которых будут способны перемещаться под водой (подобно рыбам), ползать по поверхности (подобно ящерицам или гекконам) и летать (подобно насекомым)[4].

Общая идея программы Engineered Tissue Constructs состоит в создании трехмерной модели иммунной системы человека из стволовых клеток *ex vivo*, включая интерактивное проектирование органов. Такая система была бы чрезвычайно полезной при испытаниях разнообразных вакцин и иммунорегуляторов [DARPA ETC, 2003].

Некоторые проекты непосредственно относятся к «модификации» организма военнослужащих для боевых действий в экстремальных условиях (например, в условиях высокогорья, при повышенной тем-

пературе и т.п.) или для повышения выживаемости при ранениях (программа Metabolic Engineering for Cellular Stasis). Предполагается также исследование новых методов длительной консервации и хранения стволовых клеток и клеток крови в сублимированном состоянии (для уменьшения веса) с целью их возможной быстрой активации в чрезвычайных ситуациях [DARPA MetaEng, 2003; DARPA Fact, 2003].

Новые методы позволят также повысить боеспособность личного состава в условиях хронического недосыпания, обычно характерных для боевой обстановки. В частности, целью проекта Continuous Assisted Performance является поддержание высокого физического и интеллектуального состояния человеческого организма при бодрствовании в течение семи суток, для достижения чего авторы используют обширный комплекс биофизических методов из различных областей науки (нейропсихология, психология, регулирование клеточной сигнализации). Планируется даже получение и использование мысленных образов без прямого вмешательства в работу мозга (так называемая система non-invasive imaging), что позволит в дальнейшем расширить возможности воздействия на мозг, применяя магнитную стимуляцию и новейшие фармакологические препараты [DARPA CAP, 2003; DARPA Fact, 2003].

Интересным представляется предлагаемый в программе Metabolic Dominance подход, предполагающий «поддерживать высший уровень физиологической боеспособности личного состава» за счет управления процессами энерговыделения самого человеческого организма. Авторы считают возможным обеспечение «высочайшей физической и умственной работоспособности человека при непрерывной деятельности в течение 3–5 суток без введения в организм дополнительных калорий». Программа основана на возможных манипуляциях с метаболизмом и регулированием температуры тела, а также на методиках быстрого увеличения числа и эффективности активируемых мышечных волокон и митохондрий [DARPA Metabolic, 2003].

В соответствии с программой Brain Machine Interface планируется регистрировать, расшифровывать и регулировать образы (так называемые паттерны), возникающие при возбуждении нейронной сети мозга в процессе моторной (мышечной) и сенсорной активизации [Rudolf, 2001; DARPA BMI, 2003]. Методика подразумевает, что в боевой обстановке управляющие сигналы человека-оператора (например, сигнал от мозга летчика к мышцам его руки на штурвале) будут подаваться не обычным образом (т.е. через так называемые эфферентные нервные волокна), а непосредственно из мозга. Ожидается, что

такой подход позволит снизить характерное время реакции (т.е. время подачи необходимой команды при управлении самолетом или средствами поражения) на несколько десятых долей секунды. Кроме этого, планируется ввести соответствующую систему обратной связи для обработки информации различного типа (визуальной, акустической и т.д.). Проведенные ранее эксперименты показали, что при вживлении в так называемый моторный отдел (кортекс) мозга крыс и обезьян матрицы из примерно 100 микроэлектродов можно «уловить» начальный момент формирования нервного сигнала, обеспечивающего работу мышц. В принципе, эта методика может быть использована для управления движением «рук» робота в трех измерениях [Weissberg et al., 2000; Nicolelis, 2001; Nicolelis and Chapin, 2001; см. также Hoag, 2003]. Возможность считывать сенсорные сигналы мозга может быть использована и в решении многих других задач управления и связи. Планируется продолжить описанные эксперименты с участием людей (разумеется, без прямого вмешательства в работу их мозга) для получения паттернов работы мозга и их дальнейшего использования[5]. Технически задача заключается в обеспечении достаточно высокого разрешения пространственно-временных сигналов, поступающих на внешние датчики. Сложность проблемы связана с тем, что описанные выше эксперименты проводились на животных с использованием вживляемых в мозг электродов, что недопустимо в случае изучения или применения реальных систем управления с участием человека.

3.1.3. НИОКР в военно-исследовательских лабораториях Армии США

3.1.3.1. НИОКР в лаборатории военно-морских сил (NRL)

Наибольший интерес из различных видов войск США к разработкам в области НТ проявляют военно-морские силы, которые уже много лет осуществляют планомерные и долговременные исследования, особенно в лаборатории NRL (Вашингтон, округ Колумбия), выполняющей большую часть нанотехнологических исследований для Армии США [Murday, 1999]. В 2001 году NRL даже основала специальный Институт нанонауки (Institute for Nanoscience[6]), хотя исследования в этой области продолжают осуществлять и многие другие подразделения NRL, особенно занятые программами в области, оп-

тики и электроники. Некоторое представление о размахе исследований NRL может дать приводимый в табл. 3.5 список общенаучных направлений работ лаборатории, связанных с НТ. Многие концепции развития были предложены Джеймсом Мардэем[7], который долгое время возглавлял Химический отдел NRL и, кстати, непосредственно участвовал в разработке Национальной нанотехнологической инициативы в качестве представителя Министерства обороны. Лаборатория NRL заключила большое число контрактов (с другими лабораториями Министерства обороны, правительственными финансирующими организациями и т.д.), относящихся к НИОКР в области нанонауки и технологии [NRL NT Labs, 2002; NRL NT Funding, 2002].

Таблица 3.5. Тематика нанотехнологических разработок, осуществляемых Исследовательской лабораторией военно-морских сил США (NRL). Некоторые работы проводятся отделами лаборатории совместно с Институтом нанонауки [NRL Nanoscience, 2003a: Houser and McGill, 2002; Colton 2003; Cafafi, 2003; Snow, 2003; NRL NT Labs, 2002]

	Тематика разработок
Институт нанонауки	
Наносборка	Нановолокна (взаимодействия, обработка, сборка структур)
	Химическая сборка многофункциональных элементов
	Направленная самосборка биологических наноструктур
	Получение молекулярных отпечатков (импринтов) с использованием матриц (темплатов)
	Сборка наноструктур с использованием матриц
Нанооптика	Создание материалов для фотоники с регулируемой шириной запретной зоны
	Люминесцентные квантовые точки на основе органических и биологических соединений
	Светоизлучающие материалы и устройства на основе органических соединений
	Управление наномасштабными процессами в квантовых точках
	Фотогальванические наноустройства
Нанохимия	Функциональные дендримерные материалы
	Наноустройства на основе полимеров и супрамолекулярных соединений

Таблица 3.5. *Продолжение*

	Тематика разработок
Наноэлектроника	Исследование когерентности в наноструктурах и возможностей ее использования
	Создание интерфейсов «мозг/электронное устройство»
	Создание нанокластерных электронных устройств на основе макромолекулярных матриц
Наномеханика	Техника нанометрических измерений
	Нанохимические резонаторы и проблемы нанодинамики
Отдел химии NRL	
Химическое материаловедение	Химические датчики на основе нанокластеров золота
	Самосборка/Описание архитектуры наноструктур
	Пространственно-управляемый синтез органических структур на поверхности полупроводников
	Создание композитных материалов с металлическими наночастицами
	Разработка теории углеродных наноструктур
Химия поверхностей	Наноструктурные мезопористые материалы/Аэрогели
	Нановолокна
	Поверхностные излучатели (матрицы) на основе углеродных нанотрубок
	Синтез нанокристаллов
	Наномеханика/Нанотрибология
	Получение кремниевых и германиевых поверхностей с высокими показателями преломления
	Гетероструктуры типа III–V
	Нанолитография
	Использование наноструктур InAs в датчиках
	Одномолекулярные биодатчики
Отдел оптики NRL	
Органические светоизлучающие материалы и устройства	Двухмерные фотонные кристаллы/Фотонные материалы с регулируемой шириной запретной зоны
	Изучение ширины запретной зоны в фотонных материалах сканирующими микроскопами ближнего поля
	Оптоэлектронные устройства с регулируемой шириной запретной зоны на основе GaN

Таблица 3.5. *Окончание*

	Тематика разработок
Отдел электроники NRL	Матрицы стеклянных микроэлектродов с наноканалами
	Двухмерные мультиплексные матрицы
	Создание модельного интерфейса «мозг/электронное устройство». Моделирование работы сетчатки глаза
	Исследование вычислительных процессов в биологических системах
	Люминесцентные нанокристаллические частицы
	Электростатическая стимуляция самосборки квантовых точек на основе биоконъюгатов
	Связывание мальтозы белком. Флюоресцентная проба на мальтозу
	Регистрация следовых количеств взрывчатых веществ в морской воде
	Создание наноразмерных транзисторов с высокой подвижностью электронов (HEMT) на основе InAs
	Создание наноразмерных кавнтовых структур на основе InAS/AlSb
	Электронные устройства и датчики на основе кластеров золота
	Исследование процессов роста и спектроскопических характеристик полупроводниковых квантовых точек
	Спиновая динамика в полупроводниках
	Теория полупроводниковых наноструктур
	Изготовление наноструктур (преодоление барьера точности 10 нм)

3.1.3.2. НИОКР в лаборатории сухопутных сил (ARL)

ARL осуществляет весьма обширные и энергичные исследования в различных областях НТ [ARL, 2002; см. также Rudd and Shaw, 2001], перечисляемых ниже в табл. 3.6. В области химического и биологического оружия привлекает внимание программа Nanotechnology for Chemical and Biological Defense, нацеленная на разработку целого ряда разнообразных систем обнаружения и обеззараживания средств такого оружия, а также организацию коллективной и индивидуальной защиты. В рамках этих исследований уже успешно завершены три перечисленных ниже проекта, результаты НИОКР по которым уже передаются потенциальным потребителям:

- создание защитных средств для кожных покровов человека на основе веществ, содержащих активные наночастицы;
- создание портативных иммунохроматографических анализаторов (с использованием дендримерных соединений) для «точечного» обнаружения различных биологически активных веществ;
- создание химических датчиков на основе полимеров, содержащих так называемые биохимические импринты (отпечатки).

В рассматриваемой области исследований вот уже десятки лет одной из наиболее общих и привычных задач являются разработка и испытание нетоксичных, простых и удобных в обращении дезактивирующих средств химической или биологической защиты. Нанотехнологии создают совершенно новые возможности в этой классической области исследований, позволяя синтезировать очень легкие и тонкослойные защитные покрытия на основе полимеров с введенными в них капсулированными наночастицами, обладающими высокой специфичностью и реакционной способностью. Еще один путь развития связан с использованием покрытий из мембранных материалов с избирательной проницаемостью и т.д. (интересно отметить, что мембраны такого же типа сейчас активно разрабатываются для создания топливных элементов, имеющих очень большие перспективы в технике и энергетике).

В программе Nanoscience for Structural Materials наночастицы предлагается использовать для «создания очень легких материалов, значительно превосходящих существующие по своим механическим, теплофизическим, защитным и баллистическим характеристикам». Разработки полимерных материалов в этой области заключаются главным образом в регулировании распределения наноразмерных примесей в полимерной матрице. Из уже полученных результатов стоит отметить следующие:

- разработана технология изготовления, связывания и даже «ремонта» волокнисто-упрочненных композитных материалов с использованием индукционного нагрева для диспергирования магнитных наночастиц в матрице;
- созданы нанокомпозитные покрытия, армированные наночастицами, обладающие повышенными ударными (баллистическими) характеристиками, которые могут использоваться для производства прозрачных защитных масок, щитов и т.д.;
- развиты новые методы обработки полимерных нановолоконных мембран.

Таблица 3.6. Тематика нанотехнологических разработок в Исследовательской лаборатории сухопутных сил США (ARL), выделенная на основе анализа списка ключевых понятий в документе [NRL NT Labs, 2002] Министерства обороны

Биология	Нанобиологическое детектирование
Электроника	Инфракрасные датчики на основе квантовых «стенок»
	Полупроводниковые наноструктуры
	Наноэлектронные материалы
	Квантовые точки
	Поверхностные лазеры с вертикальным резонатором; квантовая оптика
Материаловедение	Композиционные материалы с нанопорошковыми наполнителями
	Полимерные наноструктуры/наноматериалы
	Нанокерамика
	Модификация энергетических материалов
	Наноструктурированные сетчатые композиты
	Выращивание наноматериалов
	Высокоэнергетические наноматериалы; средства бронезащиты
	Наноструктурированные и «наноузорчатые» (nanopatterned) материалы
Физика	Квантовые информационные технологии и системы
	Нанофизика
	Мезофика

В программе создания порошковых материалов Nanoparticulate Materials предлагается использовать неорганические наночастицы (главным образом из карбидов бора и вольфрама) и образуемые ими структуры. Особый интерес в этой программе представляет применение микроволнового плазменного устройства Nanogen, позволяющего получать (с производительностью около 100 г/час) наночастицы размером от нескольких нанометров до нескольких десятков нанометров, что ниже предела, достигаемого обычно при механическом измельчении. Уже удалось осуществить спекание таких материалов до беспористого состояния и провести измерение их ударных характеристик. При этом использовались методы плазмоактивируемого и микроволнового спекания, что позволило сохранять наноструктуру при консолидации. Конечной целью исследований является создание, с одной стороны, очень легких по весу средств защиты личного персонала и легких транспортных средств, а с другой – тугоплавких материалов для бронебойных снарядов.

Целью программы Nanoenergetic Materials является разработка новых, высокоэнергетических порохов (так называемых метательных взрывчатых веществ) с повышенной скоростью горения и улучшенными механическими характеристиками. Используя так называемые реакции интеркаляции (внедрения), авторы хотят создать новые твердотопливные взрывчатые вещества с «упрочненной» молекулярной структурой, некоторые из которых, возможно, найдут интересные применения. Например, они могут найти применение в упоминавшихся ранее технологиях «поджигания» плазмы в новейших электротермических методах запуска снарядов. С другой стороны, эти же вещества (или их какие-то модификации) могут использоваться, возможно, и в качестве нового класса ракетных топлив.

Европейский исследовательский центр Армии США провел в Великобритании два семинара, посвященных использованию наноструктур в полимерных материалах [Rudd and Shaw, 2001; Shaw, 2002]. Из самых интересных результатов, доложенных на этих семинарах можно отметить экспериментальные данные, демонстрирующие, что введение нанопримесей из слоистых силикатов и углеродных нанотрубок в полимерные материалы позволяет значительно повысить их характеристики (модуль упругости, электропроводность, огнестойкость и термическую стабильность). В настоящее время в Англии продолжается разработка сразу нескольких проектов в этом перспективном направлении.

Помимо собственных исследований, ARL принимает участие в разнообразных проектах Института армейской нанотехнологии (см. раздел 3.1.6).

3.1.3.3. НИОКР в лаборатории военно-воздушных сил (AFRL)

Научно-исследовательская лаборатория военно-воздушных сил (AFRL) принимает участие в самых различных направлениях развития нанотехнологий [Busbee, 2002; см. также AFOSR, 2002, 2003], часть из которых приводится в табл. 3.7. В Отделе материаловедения осуществляется, например, масштабная программа под обобщающим названием NanoScience and Technology, а в разработках других отделов (например, Отдела по разработкам авиатранспортных средств,

космических аппаратов и датчиков) проводятся исследования во многих других направлениях. Кроме этого, ведутся работы по возможному использованию высокоэнергетических наночастиц в ракетных топливах, порохах и взрывчатых веществах [Pomrenke, 2002; 24].

Таблица 3.7. Тематика нанотехнологических разработок в Исследовательской лаборатории военно-воздушных сил США (AFRL), выделенная на основе анализа списка ключевых понятий в документе [NRL NT Labs, 2002]

Биология	Нанобиомиметика
Химия	Самосборка
	Энергетические материалы
Электроника	Наноэлектроника
	Магнитные наночастицы
	Молекулярные вычислительные устройства
	Теория наноструктур
	Квантовые точки для так называемых «гиперспектральных» (hyperspectral) устройств
	Нанолитография с использованием волн де Бройля (волн вещества)
	Терагерцовая техника
Материаловедение	Наноструктурные композиты
	Многомерное моделирование процессов
	Углеродные нанотрубки и пористые материалы
	Углеродные нанотрубки и волокна
	Нанокомпозиты
	Нанофазные металлы и керамика
	Наноструктурные материалы, нанокомпозиты, получение нанополимерных материалов
	Конструкционные материалы для изготовления наноструктур
Физика	Наноструктурные оптические материалы
	Наноструктурные оптические материалы; теория, моделирование и расчет характеристик
	Нанотрибология
	Квантовые информационные и вычислительные системы

3.1.4. НИОКР в Национальных атомных лабораториях США

Известно, что разработками ядерного оружия в США занимаются три крупнейшие лаборатории, получившие название Национальных (Los Alamos National Laboratory, LANL; Lawrence Livermore National Laboratory, LLNL и Sandia National Laboratory, SNL). Конечно, эти три лаборатории в процессе своей обычной работы уже давно и неоднократно сталкивались с различными проблемами, имеющими отношение к нанотехнологии. Поэтому представляется естественным, что уже в 2002 году SNL и LANL организовали для активизации работ в этой области совместный Центр объединенных исследований по нанонауке [CINT, 2003; работы лаборатории Scandia приводятся в публикации SNT, 2003]. Создание этого центра (одного из пяти финансируемых Министерством энергетики[8] в рамках ННИ) еще продолжается, но тематика его исследований в основном уже определена (нано-, био-, микроинтерфейсы, нанофотоника и наноэлектроника, сложные функциональные наноматериалы, наномеханика, теория и математическое моделирование наномасштабных процессов). Стоит особо отметить, однако, что многие из этих исследований имеют не столько военное, сколько гражданское и даже общечеловеческое значение.

Объем и координация работ в Ливерморской национальной лаборатории имени Лоуренса (LLNL) значительно возросли в результате дополнительного финансирования в рамках ННИ. Наноисследования объявлены одним из двух важнейших направлений развития Института изучения материалов, входящего в Отдел химии и материаловедения[9]. Биологические разработки LLNL в области НТ осуществляются в Лаборатории проблем биологической безопасности и нанонауки (BioSecurity and Nanosciences Laboratory), входящей в состав того же отдела [CMS, 2003; 15]. Многие НТ-проекты (некоторые из которых перечислены в табл. 3.8) финансируются в рамках программ НИОКР самой лаборатории, отличающихся весьма широким диапазоном научных интересов и размахом проводимых исследований.

В качестве примера специфической военной разработки можно привести проект синтеза (с использованием аэрогельной техники) наноструктурных взрывчатых веществ высокой мощности, в которых за счет изменяющегося состава можно регулировать процесс энерговыделения [Parker, 2000a; CMS, 2002: 41; см. также раздел 4.1.8]. Интересно отметить, что похожие разработки новых высокомощных взрывчатых веществ осуществляются также по программе Stockpile Stewardship

Management Program, связанной с хранением и усовершенствованием ядерного оружия. Официально заявленная цель этой программы состоит не только в проверке боеготовности уже существующих образцов ядерного оружия Армии США, но и «в повышении оборонной мощи США за счет изучения и использования новых материалов и химических веществ» [CMS, 2002: 48]. В этой же связи можно отметить компьютерное моделирование поведения и свойств азотсодержащих фуллеренов (типа $C_{48}N_{12}$), рассматриваемых многими учеными в качестве весьма перспективных взрывчатых веществ повышенной мощности [Rennie, 2003]. Кроме этого, вполне можно предполагать также, что национальные лаборатории разрабатывают с использованием новейших достижений НТ и какие-то секретные программы вне своей основной деятельности, т.е. по направлениям, не связанным с созданием и совершенствованием ядерного оружия.

Таблица 3.8. Некоторые из связанных с НТ проектов (их общее число составляет около тридцати), финансируемых в рамках внутренних программ НИОКР Ливерморской национальной лаборатории имени Лоуренса [LDRD, 2003]

Область применения	Тематика и цели проекта
Новые типы датчиков и контрольно-измерительной аппаратуры	Регистрация отдельных частиц для приложений в области геномики
	Создание проницаемых мембран из углеродных нанотрубок
	Использование атомно-силовых микроскопов для исследования свойств биоклеток и клеточных оболочек
	Получение из диоксида кремния (методами золь-гель) фотолюминесцентных наноструктурных материалов, обладающих способностью молекулярного распознавания
Химия	Создание при помощи лазерной техники полимерных молекул с биохимическими импринтами (отпечатками)
Техника и производство	Изготовление наномасштабных объектов
	Производство нанофильтров для экстракции металлов
Материаловедение и технология	Использование нанотехнологии в целях обеспечения режима нераспространения опасных видов оружия

Таблица 3.8. *Окончание*

Область применения	Тематика и цели проекта
	Повышение прочности и пластичности объемных нанокристаллических материалов
	Использование нанолитографии для контролируемого осаждения белков
	Изучение наноструктур актинидов
	Аккумуляция водорода в углеродных нанотрубках при высоких давлениях
	Создание нанокомпозитов (включающих магнитные наночастицы с обменной связью), обладающих магнитострикционными свойствами
Математика и вычислительная техника	Решение задач молекулярной динамики (из так называемых «первых принципов») на сверхмощных компьютерах нового типа
	Организация контроля процессов в искусственных и биологических наноструктурах
Физика	Математическое моделирование поведения «умных» наноструктур
	Развитие техники управления для сталкивающихся атомарных и молекулярных пучков с масштабе нанометров

3.1.5. *Мультидисциплинарные университетские исследования военных приложений нанотехнологии, проводимые по инициативе Министерства обороны*

В свое время Министерство обороны США, стремясь активизировать фундаментальные научные исследования вообще, предложило ряд мультидисциплинарных исследований по программе University Research Initiatives, а затем уже в рамках ННИ выдвинуло специальное предложение, связанное конкретно с НТ-исследованиями, назвав это University Research Initiatives on NT (сокращенно DURINT). Управление этой программой осуществляют совместно ARO, ONR, AFOSR и DARPA, снабжающие связанные с ней организации лабораторным оборудованием и финансирующие исследования по 15 специально подобранным темам [DURINT, 2001]. Обычно на отдельное исследование в рамках программы выделяется от 0,5 до 1 миллиона

долл. в год в течение 3–5 лет. В табл. 3.9 и 3.10 перечислены 17 грантов на закупку оборудования (общие расходы по этой статье – 7,25 миллиона долл.) и 16 грантов на проведение исследований (общие расходы – 8,25 миллиона долл.), которые были выделены в соответствии с этой инициативой в 2001 финансовом году. В 2002 бюджетном году на эти же цели предполагается израсходовать до 15 миллионов долл., а также финансировать 5 проектов в рамках уже ставшей традиционной Междисциплинарной университетской исследовательской инициативы (MURI) Министерства обороны [Roco, 2002]. Кроме этого, программы DURINT за этот год включают в себя 15 стипендий ученым из восьми высших учебных заведений для продолжения исследований [DoD fellowships, 2001].

3.1.6. Институт армейской нанотехнологии

С целью дальнейшего приближения научных разработок по НТ к требованиям и практическим запросам или нуждам военных организаций Армия США организовала специальный Институт армейской нанотехнологии или нанотехнологии для солдат (Institute for Soldier Nanotechnologies). Идея его основания относится к июлю 1998 года, когда несколько научно-исследовательских центров Армии совместно с Национальным научным фондом США выступили спонсорами проведения конференции и семинара по НТ[10]. В материалах и отчетах этих встреч отмечались удивительный прогресс во многих направлениях развития НТ и широчайшие перспективы возможных военных приложений новой науки и основанных на ее достижениях технологий (уже тогда упоминалась даже фантастическая возможность создания самовоспроизводящихся боевых устройств и т.п.). В области быстрых практических применений наибольший интерес вызвали технологии, связанные с разработкой новых материалов, продуктов питания, датчиков, дисплеев и источников энергоснабжения. В феврале 2001 года по инициативе ARO был проведен семинар по армейской нанотехнологии, многие материалы которого были позднее представлены в сети Интернет [ARO Nanoscience, 2001]. На семинаре были организованы различные рабочие группы, обсудившие состояние текущих и намечаемых разработок, а также уже существующие концепции развития этой области исследований в целом с точки зрения их практической ценности и т.п. Легко заметить, что названия некоторых предложенных разработок и концепций (приводимых в табл. 3.11) напоминают заголовки и сюжеты научно-фантастических романов

Таблица 3.9. Выделение грантов высшим учебным заведениям на закупку обрудования по программе DURINT в 2001 году [DURINT, 2001b]

Организация	Целевой грант	Военное ведомство
Университет штата Аризона	Оборудование для электронно-лучевой литографии	ВМФ
Гарвардский университет	Сканирующий зондовый микроскоп для микроструктурного анализа	DARPA/ВМФ
Университет штата Канзас	Оборудование для получения и исследования микро- и наноструктур типа III-нитрид и изготовления устройств на их основе	ВМФ
Университет Лехай	Оборудование для изучения наноструктур фокусированными ионными пучками	ВМФ
Массачусетский технологический институт	Оборудование для экспериментального изучения механических свойств мезо- и наноструктур и покрытий	ВМФ
Массачусетский технологический институт	Аппаратура для проведения измерений при сверхнизких температурах для изучения квантовых вычислительных систем и сверхпроводников	ВВС
Университет штата Пенсильвания	Фотоэлектронный спектрометр и другое оборудование для получения и исследования кластеров и процессов их сборки в наноструктуры	ВВС
Университет Райса	Оборудование для получения и исследования углеродных одностенных нанотрубок	ВМФ
Стивенсовский технологический институт	Оборудование для исследований в области нано- и молекулярной электроники	Армия
Калифорнийский университет (Санта-Барбара)	Оборудование для исследований возможностей катализа наноструктурами (при синтезе метана, окиси этилена и окиси пропилена нанокластерами Au, Cu и Ag)	ВВС
Иллинойский университет (Урбана)	Оборудование для спектрометрии сверхбыстрых колебаний в энергетических наноматериалах	Армия
Аризонский университет	Нанотехнологическое оборудование	ВВС
Университет Колорадо	Оборудование для исследований в области молекулярных моторов	Армия

Таблица 3.9. *Окончание*

Организация	Цепевой грант	Военное ведомство
Мичиганский университет	Возможности применения наноструктур в различных устройствах	ВМФ
Техасский университет	Оборудование для электронно-лучевой литографии, используемой при изучении процессов самосборки биологических наноструктур	Армия
Университет штата Виргиния	Эмиссионный электронный микроскоп высокого разрешения для исследования наноматериалов	ВВС
Университет Западного Кентукки	Рентгеновский дифрактометр для нанотехнологических исследований	ВВС

Таблица 3.10. Выделение грантов высшим учебным заведениям на проведение исследований по программе DURINT в 2001 году [DURINT, 2001 c; Pomenke, 2002]

Организация	Цель исследований по программе DURINT	Военное ведомство
Университет Колорадо	Наноразмерные машины и двигатели	Армия
Университет Вашингтон	Возможности контроля на молекулярном уровне в наноэлектронике и производстве наномагнитных структур	Армия
Университет Миннесота	Наноэнергетические системы	Армия
Стивенсовский технологический институт	Наноразмерные элементы, устройства и системы	Армия
Университет Райса	Синтез, очистка и придание функциональности углеродным нанотрубкам	ВМФ
Принстонский университет	Наноэлектроника и архитектура наноструктур	ВМФ
Университет Карнеги–Меллона	Нанопористые полупроводники (матрицы, подложки, темплаты)	ВМФ

Таблица 3.10. *Окончание*

Организация	Цель исследований по программе DURINT	Военное ведомство
Массачусетский технологический институт	Деформация, усталость и излом материалов на межфазных границах	ВМФ
Калифорнийский университет (Санта-Барбара)	Использование наноструктур в катализе	ВВС
Массачусетский технологический институт	Полимерные нанокомпозиты	ВВС
Университет штата Нью-Йорк (Буффало)	Использование полимеров в нанофотонике и наноэлектронике	ВВС
Массачусетский технологический институт	Квантовые вычислительные устройства	ВВС
Университет штата Нью-Йорк (Стони Брук)	Квантовые вычислительные устройства	ВВС
Северозападный университет	Молекулярное распознавание и передача сигналов в биомолекулярных системах	DARPA/ВВС
Университет Южной Калифорнии	Синтез и модификация поверхностей наноструктур	DARPA/ВВС
Гарвардский университет	Применение магнитных наночастиц в биотехнологии	DARPA/ВВС

или даже сказок. Например, один из проектов озаглавлен «Обеспечение полной невидимости солдата во всем диапазоне электромагнитного излучения» [ARO Materials, 2001].

Таблица 3.11. Проблемы, обсуждавшиеся рабочими группами на семинаре по армейской нанотехнологии [ARO Materials, 2001, ARO Power, 2001, ARO Soldiers, 2001, ARO Displays, 2001]. Для работ по тематике «Отслеживание и моделирование состояния организма военнослужащего и его окружения» использованы дополнительные пометки: бп – ближняя перспектива, дп – далекая перспектива, вп – возможная перспектива

Рабочая группа	Обсуждаемые проблемы
Материалы и ткани	Создание высокопрочных и легких материалов Создание адаптивных, высокофункциональных материалов
Источники и распределение энергии, терморегуляция	Разработка топливных элементов, батарей и микротурбин Разработка энергетических систем «поддержки» Терморегуляция организма
Отслеживание и моделирование состояния организма солдата и его окружения	Создание «ранцевого» клинического и фармакологического оборудования (дп, вп) Прямой контроль над состоянием организма (бп, дп) Отслеживание ближайшего окружения (бп, дп) Прогноз состояния организма солдата и моделирование его поведения (бп, дп) Активная регенерация воды организма (дп, вп) Полный контроль и механическое усиление всех возможностей организма (дп, вп) Создание искусственной системы (внутри организма), осуществляющей контроль и переработку биохимической, внешней и сигнальной информации (вп) Биоэнергетические устройства для питания датчиков (дп, вп)
Дисплеи, датчики и антенны	Дисплеи Антенны Датчики

Обсуждалась прежде всего весьма общая проблема принципиальной возможности использования нанотехнологий для «модификации» боевых возможностей солдата, т.е. для искусственного повышения его физических и интеллектуальных возможностей. Выводы и мнения участников семинара по отдельным вопросам, а также намечаемые ими цели исследований представляются пока неопределенными, примером чего могут служить отрывки из опубликованных материалов:

«Цель № 7. Внедрение в организм человека (солдата) искусственных систем, позволяющих значительно повысить возможность восприятия внутренних и внешних химических и информационных данных или сигналов».

Предлагаемая цель является не только фантастической по замыслу, но и весьма опасной, поскольку подразумевает возможность развития внутри организма устройств получения, измерения, управления и обработки информационных данных и связанных с этим коммуникационных систем.

«ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ:...

все компоненты (имплантируемые и естественные) используемых устройств, связанные с получением, переработкой и усилением сигналов, должны постоянно поступать и контролироваться независимым центром управления;

решение поставленных задач требует разработки миниатюрных, биосовместимых нанокомпьютеров, которые смогут преобразовывать получаемые от датчиков сигналы, перерабатывать их и связываться с управляющим центром;

должна быть определена оптимальная система соединения датчиков, не требующая дальнейшего внешнего управления и вмешательства;

должны быть изучены и подобраны биологические структуры, соответствующие соединениям входных и выходных сигналов;

должна быть выработана оптимальная схема размещения управляющих и реагирующих структур в организме человека;

...

должна быть создана система управления процессами метаболизма и циркуляции химических веществ внутри организма».

[ARO Soldier, 2001]

На основе докладов и рекомендаций этого и нескольких следующих семинаров ARO в октябре 2001 года выступило с инициативой создания специализированной организации для координации и осуществления исследований в соответствии с принятой концепцией. Новое подразделение ARO, получившее название Института нанотехнологии для солдат (Institute for Soldier Nanotechnologies, ISN), не занимается абстрактными и фантастическими проектами, а выпол-

няет или финансирует выполнение в других организациях разнообразных исследований материалов и устройств, обеспечивающих индивидуальную защиту личного состава. В ходатайстве о создании института его цели сформулированы в следующей форме:

«Институт будет осуществлять и заказывать исследования (точную классификацию которых сейчас трудно провести) по получению и использованию новейших материалов, устройств и систем, основанных на управлении характеристиками вещества в нанометровом масштабе или на создании атомарных, молекулярных и супрамолекулярных структур. В нем будет также разрабатываться исследовательская аппаратура, необходимая для создания и изучения более крупных и сложных структур, имеющих, например, принципиально новое молекулярное строение или обладающих необычными физическими, химическими и биологическими характеристиками и свойствами».

[ARO Solicitation, 2001: раздел 3.1.2]

В том же ходатайстве определяется, что создаваемый «институт должен стать основной организацией в Армии США, ответственной за исследования, связанные с возможным будущим использованием нанотехнологии в боевых условиях», а также должен осуществлять координацию действий промышленных и военных организаций в этой области. Предполагается также «создание мощной и централизованной организации, объединяющей первоклассных ученых и обладающей прекрасной инфраструктурой». Конечной целью должно стать использование результатов НИОКР в конкретных военных приложениях, что подразумевает и возможный обмен персонала с другими военными лабораториями, а также тесное взаимодействие с промышленными, военно-техническими и учебными организациями [ARO Solicitation, 2001: разделы 3.1.2, 3.1.3.4].

В марте 2002 года ISN был официально организован на базе известного Массачусетского технологического института (MIT), для чего с MIT был заключен отдельный контракт на сумму 50 миллионов долл., Кроме этого, 30 миллионов долл. на организацию института дополнительно выделили некоторые промышленные организации [MIT News, 2002; Army News, 2002; Talbot, 2002][11]. Директором нового института был назначен профессор материаловедения и машиностроения Эдвин Томас, а спонсорами со стороны промышленных кругов выступили известные фирмы Raytheon, Dupont и Центр интеграции медицинских и инновационных технологий (Center for Integration of Medicine and Innovative Technology), учредителями которого являются два медицинских госпиталя и сам MIT. Штат ISN насчитывает 150 человек, включая 35 профессоров MIT с девяти факультетов. Фундаментальные исследования не имеют строгой направленности, и их результаты публикуются в открытой печати. Проблемы, связанные с участием в работах студентов-иностранцев, решаются в индивидуальном порядке [ISN Q&A, 2002]. Прикладные исследования и разработки, связанные с промышленными или военными секретами, должны осуществляться непосредственно на промышленных предприятиях, в закрытых военных организациях или в Лаборатории MIT имени Линкольна.

Официально заявленная цель ISN представляет «существенное повышение уровня выживаемости отдельного военнослужащего, достигаемое за счет использования нанотехнологии. Основными направлениями исследований являются следующие: развитие средств индивидуальной защиты, значительное повышение индивидуальных возможностей организма, обеспечение новых методик помощи при ранениях и повреждениях» [ISN, 2002]. С этой целью в ISN уже создано семь междисциплинарных исследовательских групп, целью которых является тщательное изучение перечисленных ниже, в табл. 3.12, шести базовых элементов армейской (общевойсковой) боеспособности.

Таблица 3.12. Базовые элементы армейской (общевойсковой) боеспособности и междисциплинарные исследовательские группы Института армейской нанотехнологии, занятые исследованиями в данных направлениях [ISN Research, 2002; Mullins, 2002]

Базовые элементы армейской (общевойсковой) боеспособности
Прочные и легкие структурные материалы для экипировки и вооружения
Адаптивные многофункциональные материалы для различных элементов экипировки и вооружения
Новые типы защитных средств против химического и биологического оружия; средства идентификации «свой/чужой»
Системы дистанционного и локального контроля над состоянием организма
Системы дистанционного и локального контроля, позволяющие организовать медицинскую и иную помощь при ранениях и т.п., что должно повысить «выживаемость» личного состава
Новые системы (военного и гражданского назначения), позволяющие повысить работоспособность и эффективность действий личного состава в различных отношениях

Таблица 3.12. *Окончание*

Междисциплинарные исследовательские группы	Финансирование исследований в 2002 бюджетном году (млн долл.)
1. Энергопоглощающие материалы	2,45
2. Механически активные материалы и устройства	2,25
3. Датчики, средства химической и биологической защиты	2,75
4. Биоматериалы и наноустройства медицинского назначения	1,35
5. Методы обработки и измерения	2,70
6. Моделирование	1,38
7. Передача технологии, организация межведомственных контактов и т.д.	1,44

На рис. 3.2 представлен созданный художником предполагаемый образец боевой формы будущего солдата Армии США, соответствующий некоторым концепциям ISN. Основная идея состоит в создании нового типа боевого снаряжения (его можно назвать доспехами или костюмом), предназначенного для одновременного выполнения нескольких важных функций. Прежде всего такой боевой костюм должен осуществлять защиту военнослужащего на поле боя (от пуль и средств химического или биологического поражения) и усиливать его физические возможности (придавать способность поднимать тяжелые грузы, преодолевать препятствия и т.п.). Кроме этого, новое обмундирование должно также обеспечивать организм солдата медицинской помощью и поддержкой в боевых условиях или после ранения (обезболивающие препараты, физиологические средства поддержания или повышения активной жизнедеятельности) и многое другое. Снаружи костюм покрыт оптически активной тканью, способной изменять камуфляжную окраску и формировать невидимые в оптическом спектре изображения, позволяющие в боевых условиях легко идентифицировать участников конфликта по принципу «свой/чужой». Костюм может быть снабжен механическими устройствами, позволяющими солдату преодолевать серьезные препятствия (например, перепрыгивать стены высотой до 6 метров и т.п.). В ближайшее десятилетие конструкторы планируют снизить вес снаряжения от нынешних 50 кг примерно до 20 кг. Возможности дальнейшего усложнения и усовершенствования боевой экипировки обсуждаются в работах [Leo, 2002; MIT News, 2002].



Рис. 3.2. Структура боевой экипировки, разрабатываемой Институтом нанотехнологии для солдат (воспроизводится с разрешения ISN)

3.1.7. Инновационный центр оборонных НТ

В декабре 2002 года при Калифорнийском университете был создан Инновационный центр оборонных НТ-разработок (Center for Nanoscience Innovation for Defense, CNID), для чего отделениям университета в Санта-Барбаре, Лос-Анджелесе и Риверсайде было выделено 13,5 миллиона долл. [UCR, 2002]. На последующие три года запланировано дополнительное финансирование в объеме более 20 миллионов долл. В качестве организаторов центра выступили несколько ведущих национальных лабораторий (в том числе и известная Национальная лаборатория в Лос-Аламосе), а также десять крупных промышленных компаний (Boeing,

DuPont, Hewlett Packard, Hughes Research, Motorola, NanoSys, Northrop Grumman, Rockwell Scientific, Raytheon, TWC). Основными задачами нового центра должны стать координация исследований с другими созданными в Калифорнии наноцентрами, разработка и эксплуатация новейших типов научного оборудования, а также выделение стипендий для привлечения к сотрудничеству и дальнейшим исследованиям студентов-старшекурсников и выпускников. Еще одной целью нового центра является создание информационной сети, которая должна «позволить фирмам, не осуществляющим самостоятельных фундаментальных исследований, быть в курсе новейших достижений науки, а также быстро находить и устанавливать необходимые контакты при внедрении новых оборонных технологий» [UCR, 2002]. Уже известно также, что отделение университета в Риверсайде будет специализироваться на НТ-исследованиях в области наноэлектроники и спинтроники, в частности, заниматься разработками новейших типов датчиков и молекулярных запоминающих устройств (на основе мультипорфириновых соединений, нейронов и нанотрубок).

3.1.8. Организация внедрения результатов НИОКР

Исследовательский и научно-технический центр при Командовании бронетанковых и автомобильных войск США (Управление Tank-automobile and Armaments Command – Army Research, Development and Engineering Center, обычно обозначаемое аббревиатурой TACOM – ARDEC) создал на основе крупного арсенала армии в городе Пикаттини (штат Нью-Джерси) свой собственный производственный, исследовательский и учебный центр по нанотехнологиям. Основной задачей центра должно стать быстрое внедрение «почти готовых» (near-term) изделий или усовершенствований на основе НТ. Управление TACOM – ARDEC вообще занимается в Армии США исследованиями в области взрывчатых веществ, созданием боеголовок, боеприпасов, снаряжения, оружия, а также систем управления огнем и логистики. Деятельность создаваемого нанотехнологического центра будет связана с исследованиями в следующих областях:

- разработка и внедрение новейших электронных устройств для «умного» военного снаряжения;
- исследование и создание высокопрочных и легких наноструктурных материалов для производства боеголовок, артиллерийских систем, ударников и броневой защиты;

- синтез новых «умных» материалов и соединений (высокоэнергетические соединения, градиентные покрытия, принципиально новые методы воздействия на мишень и т.п.);
- компоненты взрывателей и детонаторов.

Организаторы центра планируют в дальнейшем создать на основе этого центра Нанодолину (по аналогии со знаменитой Силиконовой долиной, где разрабатывается новейшая электроника). В этом технологическом парке будет осуществляться масштабное развитие и внедрение разнообразной техники двойного назначения (гражданского и военного) с привлечением к партнерству самых разных государственных и частных организаций [Devine, 2002].

3.2. Исследования по военным нанотехнологиям в других странах

При написании этой книги автору не удалось собрать сколь-нибудь систематизированную и полную информацию о НТ-разработках военной направленности по всему миру. Получение информации относительно исследований во многих странах оказалось просто невозможным, вследствие чего данный раздел книги составлен на основе сведений, полученных из легкодоступных и не очень достоверных или полных источников.

3.2.1. Федеративная Республика Германия

Серьезные исследования возможных военных приложений НТ в Германии фактически еще не начаты. Во всяком случае, федеральное Министерство обороны на 2003 год не финансировало ни одной технологической разработки, которую можно было бы отнести к НТ в строгом смысле этого термина[12]. Стоит лишь отметить, что Министерство обороны ФРГ поручило Институту Фраунгофера изучить возможность практического «использования нанотехнологий в военных целях» [см. также INT, 2003]. Начатое весной 2000 года исследование было закончено в 2004 году, и на его проведение было выделено 0,5 миллиона евро[13]. Предполагается, что именно проведенный по этому проекту анализ станет основой принятия Министерством обороны ФРГ конкретных программ исследований в области НТ.

В 2003 году финансируемый правительством аналитический «мозговой центр» под названием Stiftung Wissenschaft und Politik с сожале-

нием отметил провалы в области использования новейших микротехнологий для целей обороны и безопасности страны. Кроме того, правительству было указано на сложности контроля производства, использования и экспорта новых видов оружия, изготовляемых по таким технологиям. Центр соответственно рекомендовал усилить защиту персонала и оборудования от несанкционированного использования миниатюрных устройств и других видов нанооружия, включая микробиологическое [Geiger, 2003].

Следует дополнительно подчеркнуть, что политика Правительства Германии в развитии военных технологий вообще нацелена почти исключительно на использование результатов, полученных в ходе обычных, т.е. гражданских, НИОКР. Правительство финансирует научно-технические работы военного характера лишь в исключительных случаях их очевидной необходимости и невозможности найти аналоги в гражданском секторе.

3.2.2. Великобритания

По сравнению с Германией, сведения об исследованиях возможных военных приложений НТ в Великобритании являются более обширными. Известно, что в 2001 году Министерство обороны опубликовало общий обзор состояния дел в этой области [UK MoD, 2001a; см. также раздел 1.5.9] и сформировало при Министерстве особый Совет по нанотехнологии, состоящий из научного руководителя и четырех профессоров-специалистов в различных направлениях НТ. Объем финансирования по программе исследований Corporate Research Programme составил в 2001 году 1,5 миллиона ф. ст. (1,2 миллиона евро), а затем несколько увеличился. Английский подход к НТ в целом основан не на единой программе исследований, а на одновременном участии английских фирм и организаций во многих проектах, осуществляемых в разных странах мира. Роль Министерства обороны при этом сводится лишь к общей оценке возможностей и опасностей НТ для обеспечения обороны Великобритании и ее союзников. Финансирование многих разработок осуществляется через университеты и ставит своей целью участие в совместных проектах и в обмене научно-технической информацией. Некоторые подробности читатель может найти в трудах конференции по НТ [Burgess, 2002], где, в частности, перечисляются основные области, представляющие интерес для Министерства обороны:

- источники энергии; сплавы, композиты, полимеры, ткани; взрывчатые вещества, пиротехника; самовосстанавливающиеся системы; новые типы оружия (интеллектуальное, автономное, высокоточное); покрытия типа «стелс» и «антистелс» и т.п.;
- методы засекречивания и защиты коммуникационных систем; глобальные информационные системы; датчики и детекторы;
- вакцины; медицинское обслуживание; лечение, обработка и обеззараживание ран; кремы, защищающие от химического и биологического воздействия; датчики типа «лаборатория-на-чипе» (lab-on-chip) для обнаружения и идентификации химических и биологических агентов.

Кроме этого, в материалах конференции упоминается потенциальная возможность «неэтического использования НТ для изготовления новых типов химического и биологического оружия». Отмечается также, что в настоящее время «около 98 % НИОКР в области военных приложений НТ оплачиваются из посторонних источников», а работы в междисциплинарных исследовательских центрах (Interdisciplinary Research Centers, IRCs) и Королевской академии наук финансируются совместно Министерством обороны и исследовательскими советами (Research Councils). Кроме того, Министерство обороны иногда непосредственно финансирует НИОКР, проводимые известной фирмой QinetiQ[14] и некоторыми другими промышленными организациями, непосредственно связанными с НТ. В упомянутой выше программе Corporate Research Programme перечислены некоторые конкретные виды материалов и изделий, представляющие интерес для Министерства обороны: нанокристаллические материалы; полимерные нанокомпозиты; наноструктурированные формы углерода; водородпоглощающие материалы; разнообразные материалы для нанодатчиков; динамические запоминающие устройства и т.п.; квантовые когерентные устройства; молекулярная электроника; нанофотоника.

Специально для разработки и выпуска энергетических материалов из наночастиц размером около 100 нм фирма QinetiQ организовала филиал (названный QinetiQ Nanomaterials) и после разнообразных испытаний уже приступила к коммерческому производству некоторых материалов (из которых стоит отметить не содержащие свинца присадки к топливу, повышающие воспламеняемость). Считается, что исследовательский отдел фирмы QinetiQ в настоящее время является крупнейшей в Европе организацией, занятой НИОКР в области НТ вообще, и наноматериалов в частности. Отдел выделяет-

ся как числом сотрудников (~ 150 человек), так и широтой научно-технических интересов, включающих гибридные материалы, нанодатчики, наномагнитные материалы, биомиметику, наноуглероды и наноэлектронику [Reip, 2002; QinetiQ, 2003].

Известно также, что несколько (по меньшей мере три) английских университетов приступили к проектам исследования наноструктур в полимерных матрицах, финансируемых Европейским исследовательским отделом (US Army European Research Office) Армии США [Shaw, 2002; см. также раздел 3.1.3.2].

3.2.3. Военные нанотехнологические разработки в других странах Западной Европы, Евросоюза и НАТО

Среди западноевропейских стран наиболее серьезных успехов в военных приложениях НТ добилась Франция, славящаяся своими богатыми традициями военно-технических исследований и поддерживающая свой статус ядерной державы. Одним из организаторов Второй международной конференции по микро- и нанотехнологиям (Minatec-2001, Гренобль) выступило Управление снабжения Министерства обороны Франции, которое даже специально посвятило один из дней конференции заседаниям и докладам по тематике «Наука и оборона» (впрочем, интересно, что на следующей конференции в 2003 году заседания по этой тематике не проводились), в которых принимали участие и представители Комиссариата по атомной энергии, отвечающего во Франции за разработку ядерного оружия [Minatec, 2001, 2003]. К сожалению, при подготовке книги не удалось получить почти никакой информации ни о тематике, ни об объеме финансирования французских исследований в области военного применения НТ.

Почти нет данных об исследованиях по военным приложениям НТ в Голландии, однако сведения о военных разработках микросистемной техники [Altmann, 2001: Section 3.3] позволяют предположить некоторую активизацию деятельности в этой области.

Осуществление государственной программы НТ-исследований в Швеции мотивировалось, с одной стороны, необходимостью модернизировать промышленное оборудование, а с другой – желанием сохранить развитую базу национальной оборонной промышленности, а также повысить ее научно-технический уровень и конкурентоспособность на международном рынке. Управление научно-оборонных исследований Швеции (Defense Research Organization, FOI) старается организовать работу таким образом, чтобы выполнение проектов всегда повышало степень интеграции и сотрудничества научно-исследовательских и оборонных организаций. В марте 2002 года был проведен первый семинар по НТ, результатом которого стало решение о принятии национальной программы (в марте 2003 года), первая и вторая фазы которой должны были начаться в июле 2003 и 2005 годов соответственно. По планам Управления первые демонстрации нанотехнологических процессов и изделий должны быть представлены осенью 2008 года [Savage, 2002; дополнительные сведения о FOI можно найти на сайте http://www.foi.se].

Обширная, так называемая Рамочная программа научно-технических и прикладных исследований стран Евросоюза по некоторой традиции вообще не включает в себя военно-технические НИОКР [EC, 2004], хотя такие разработки постоянно учитываются и согласуются при выработке единой политики в области обороны и безопасности. Хотя НТ не упоминаются открыто, можно уверенно предположить, что именно на таких технологиях основывается отмеченное в общей программе «развитие технических методов обнаружения, идентификации и нейтрализации опасных веществ (включая биологическое, химическое и ядерное оружие массового уничтожения), а также их хранения или использования» [EC, 2004]. С другой стороны, проблемы технологического использования НТ уже рассматривались Промышленной группой по европейской обороне (European Defense Industry Group, EDIG), что может в дальнейшем привести к включению таких разработок в известную крупномасштабную программу EUCLID [Burgess, 2002].

В рамках НАТО ранее (2000–2003 годы) уже функционировала рабочая группа по использованию методов МЭМС в наземных, морских и воздушных аппаратах и устройствах (MEMS Applications for Land, Sea and Air Vehicles)[15], а в 2004 году должна была быть создана рабочая группа по НТ.

3.2.4. Российская Федерация

В процессе написания книги автору, к сожалению, не удалось получить сколь-нибудь полной и достоверной информации о состоянии НТ-разработок военного характера в России, однако из статей и работ обзорного характера представляется очевидным, что там (несмотря на переживаемые страной экономические трудности) продолжаются масштабные исследования по многим направлениям нанотехнологии

[см., например, Holdridge, 1999; Andrievski, 2003, и приводимые в этих работах ссылки]. Кроме этого, российские научные учреждения продолжают принимать участие во многих программах международного сотрудничества, примером чего может служить соглашение о совместных разработках в 6-й Рамочной программе Евросоюза[16].

В соответствие с Национальной концепцией безопасности Российской Федерации (2000 год) основные действия в области обороны должны быть нацелены на «технологический прорыв в ведущих направлениях науки для повышения возможностей создания новых типов оружия и военного оборудования». Принципиальная возможность применения военной силы допускается лишь в исключительных ситуациях, но отмечается, что «реструктуризация и конверсия оборонной промышленности не должны препятствовать созданию новых технологий, развитию научно-технического потенциала, модернизации оружия и специализированного военного оборудования, а также усилению позиций российских производителей на мировом рынке вооружений» [Russia, 2000; см. также Russia, 2000a].

Известно, что Россия имеет очень давние и богатые традиции создания высокотехнологических видов оружия, поэтому можно не сомневаться, что она легко может использовать разнообразные НТ-разработки для военных приложений, если такая задача получит достаточно высокий приоритет.

3.2.5. Китай

Достоверной информации об использовании НТ для военных целей в Китае очень мало, хотя хорошо известно, что общий уровень нанонауки в этой стране очень высок и широкомасштабные исследования в этой области проводятся многими специализированными центрами, создаваемыми в рамках Академии наук Китая и в различных университетах. Китайское руководство осуществляет широкое сотрудничество с другими странами и регулярно проводит в Китае международные конференции, связанные с самыми разнообразными проблемами НТ. В организованный правительством Национальный координационный комитет по НТ вошли представители многих министерств и ведомств [Bai, 2001]. Хотя в списке организаций-учредителей военные структуры не упоминаются, можно не сомневаться, что приводимые в конце официального перечня слова («...и другие организации») относятся именно к Министерству обороны или Комиссии по науке и технологии (Commission of Science and Technology for National Defense, COSTIND) при этом министерстве [COSTIND, 2002].

Забавная ситуация возникла недавно при анализе китайской военно-технической литературы специалистами США. Американцы обнаружили (точнее, им показалось, что они обнаружили) в одной из китайских военных статей упоминание о возможном использовании против США «микророботов и роботов-муравьев», однако позднее выяснилось, что это упоминание связано с неточным цитированием и переводом именно американской работы по этой тематике (см. раздел 3.4).

Китай ведет и постоянно расширяет активные фундаментальные исследования в нанонауке, развивая самые современные военные технологии, поэтому он безусловно способен спланировать и осуществить самые разнообразные проекты военно-технического применения НТ.

3.2.6. Другие страны

В разделе 2.5 уже отмечалось, что в настоящее время нанотехнологиями занимаются (или планируют заниматься) более 30 стран, но лишь некоторые из них проявляют активную деятельность, отражаемую в публикациях и патентах, а большинство ограничиваются исследованиями НТ в гражданских секторах экономики, связанных с производством новых товаров. В качестве примера можно привести Тайвань и Южную Корею, которые используют достижения нанотехнологии только для продолжения своей традиционной экономической политики, т.е. для массового производства новых гражданских товаров и услуг [см., например, Lee C. K. et al., 2002; Lee J.-W., 2002].

Япония, являющаяся одним из крупнейших экспортеров высокотехнологических товаров гражданского назначения, проявляет пока лишь незначительную активность в военно-технических разработках (и производстве новейших типов вооружения вообще). Стоит отметить, однако, что эта ситуация может измениться при изменении общего курса внешней политики Японии, вследствие чего эта страна может быстро превратиться в одну из ведущих стран в области военного применения НТ.

С другой стороны, в Израиле планы коммерческого развития НТ с самого начала содержали упоминания о возможных военных применениях. Бывший премьер-министр Ш. Перес говорил о возможности создания боевых подразделений «без солдат» и о важности НТ

для ядерной программы страны. Специальный комитет по этой проблеме, созданный президентом Академии наук Израиля, уже предложил 5-летнюю программу развития нанотехнологий в стране. В состав комитета входит представитель Министерства обороны, и в программе упоминаются военные разработки [Peres, 2003; Netfirms, 2001].

Научно-технический отдел Министерства обороны Австралии уже представил свой первый обзор по возможным военным приложениям НТ для нужд сухопутных войск и продолжает заниматься этими вопросами [Wang and Dortmans, 2004].

Следует ожидать значительного расширения объема НТ-исследований в Индии, которая уже обладает ракетно-ядерным оружием и известна своей активностью в развитии новейших военных технологий и производств. Соответствующего нарастания исследований следует ожидать и в Пакистане, также обладающем ядерным оружием.

Ни одна из стран, которые в последние годы принято называть странами-изгоями (Куба, Иран, Ливия, Северная Корея), не осуществляет сколь-нибудь заметных исследований в области НТ, поэтому практически исключено, чтобы какая-нибудь из них смогла (без внешней помощи) в ближайшие годы разработать серьезные военно-технические системы с использованием НТ.

Подытоживая сказанное, можно также отметить, что практически все страны сейчас способны проводить биомолекулярные исследования, а необходимые для НТ-разработок аппаратура и методики становятся все более доступными и разнообразными. Поэтому было бы логичным ожидать, что в близком будущем развитием новых технологий серьезно «займутся» и новые государства (а возможно, даже и негосударственные организации).

3.3. Комментарии к общей картине финансирования НИОКР в области военных нанотехнологий

Сколь-нибудь подробные данные о финансировании НИОКР в области военных применений НТ известны лишь относительно США, где общие расходы на эти цели в 2003 году (только в рамках ННИ) составили 243 миллиона долл. (см. табл. 3.1). Информация о расходах в Германии и Великобритании является очень скудной, и текущие объемы финансирования на эти цели в этих странах можно оценивать лишь с большой осторожностью. Например, исходя из извест-

ной цифры расходов Великобритании на эти цели в 2001 году (1,2 миллиона евро) и предполагая, что эти расходы увеличиваются ежегодно примерно в полтора раза, можно приблизительно оценить финансирование на 2003 год суммой в 3,2 миллиона евро. Для Германии этот подход дает оценку 0,2 миллиона евро.

В отсутствие точной информации можно предположить далее, что финансирование во Франции и Голландии на эти цели примерно соответствует уровню финансирования в Англии, а остальных европейских стран – пока является незначительным. Верхний потолок общих расходов западноевропейских стран на военные приложения НТ, по нашей оценке, составляет около 15 миллионов евро (он заведомо меньше 20 миллионов евро), что примерно в 12–16 раз меньше аналогичных расходов США.

Можно также попытаться оценить аналогичные расходы России и Китая, исходя из следующих соображений. Официальные военные бюджеты двух других ядерных держав (Англии и Франции) равны 4 и 3 миллиардам долл. в год соответственно. Известно, что в этих странах доля расходов на военные приложения НТ составляет около 0,1 % (для сравнения укажем, что в США эта доля равна 0,6 % и соответствует в абсолютном выражении 40 миллиардам долл.). Зная, что общие расходы на военные НИОКР в России и Китае равны примерно 2 и 1 миллиарду долл., и предполагая для этих стран примерно такое же соотношение в структуре финансирования, можно грубо оценить примерные объемы военных НТ-разработок в этих странах цифрами в 2 и 1 миллион долл. в год. С другой стороны, следует, конечно, учитывать всю условность и неточность приводимых соображений и данных. Например, данные относительно 1999 года берутся из источника [BICC, 2001], а данные по Китаю вообще соотносятся с 1994 годом [Arnett, 1999]. Возможно, что реальный уровень расходов этих стран в 2–3 раза выше, что сразу выводит их на уровень расходов Великобритании и т.д. Учитывая сказанное и добавляя в общую сумму около 2 миллионов долл. в год (на все 10–20 прочих стран, имеющих отношение к развитию НТ), можно оценить общемировые расходы (без учета США) на развитие военных НТ цифрой в 30–40 миллионов долл. В этом случае расходы США на НИОКР в области военных НТ превосходят суммарные расходы всех остальных стран в 6–8 раз.

Другие методики подсчета и оценки приводят к соотношениям от 4:1 к 10:1, так что в любом случае США существенно превосходят все остальные страны в финансировании военных исследований в области НТ. Однако во многих случаях это огромное преимущество объяс-

няется лишь тем, что многие страны просто не уделяют этим разработкам внимание. Исторический опыт наглядно доказывает, что реальные расходы могут очень резко возрастать, особенно на стадиях перехода от НИОКР к реальному развитию, внедрению и развертыванию новых систем вооружений.

3.4. Возможно ли возникновение гонки вооружений в области НТ вследствие неправильной оценки ситуации?

Со времен холодной войны известно, что одним из основных и важнейших мотивов развития новых военных технологий является не сама опасность, а ощущение или предвидение опасности. Классическим примером может служить ситуация, когда противники разоружения в США выдвигали в качестве своего основного аргумента значительное превосходство СССР над Соединенными Штатами в бомбардировочной авиации и ракетах. Гонка вооружений была развязана, и лишь позднее разведывательные полеты самолетов-шпионов U-2 и наблюдения со спутников показали, что советское превосходство являлось мнимым. Хотя сейчас глобальная идеологическая конфронтация завершилась, в отношениях основных потенциальных противников (США, Россия, Китай) продолжают существовать и действовать старые механизмы, основанные на взаимных опасениях и ощущении надвигающейся опасности. Атмосфера засекреченности военных исследований, а также очевидное взаимное недоверие только усиливают эти механизмы, конечным результатом чего может стать нарастание (физик назвал бы это «ускорением») чувства опасности, способное привести нас к новой гонке вооружений, на этот раз в области НТ-вооружений.

В качестве характерного примера можно привести упоминающийся ниже случай совершенно ошибочной интерпретации китайского текста. Интересно, что ошибка возникла по вине видного специалиста по Китаю и бывшего сотрудника Министерства обороны США М. Пилсбери, который написал детальное исследование военной стратегии Китая, озаглавленное «Китайское видение проблем безопасности в будущем». Рассуждая о революционных изменениях в военной технике, М. Пилсбери включил в текст работы следующий раздел:

«Нанотехнологическое оружие

Статья генерал-майора Сунь Байлиня в журнале Военной академии представляет особую важность, поскольку наглядно демонстрирует, каким образом по вооруженным силам США может быть нанесен асимметричный удар с использованием новейших технологий. Генерал Сунь указывает, что жизнедеятельность в Соединенных Штатах во многом зависит от "высокоскоростных информационных каналов", что делает их весьма уязвимыми, так как эти каналы можно легко атаковать "микроскопическими роботами" (ссылка под номером 635).

Мишенью такой атаки могут стать американские системы электроснабжения, транспортные сети, морские гавани и порты, телестанции, заводы, предприятия и т.д. Сунь также полагает, что асимметричной атаке "роботами-муравьями" может быть подвергнуто и американское военное оборудование.

По мысли генерала Суня, такие роботы будут представлять собой микроскопические электромеханические системы, управляемые и питаемые звуковыми сигналами. Электропитание "робота-муравья" будет при этом осуществляться сверхминиатюрным микрофоном, преобразующим звуковую энергию подаваемого сигнала. Микророботы будут "запускаться" заранее и смогут заползать в жизненно важные системы управления потенциального противника, после чего будут "прятаться" длительное время (возможно, десятилетиями), не создавая никаких проблем в мирное время. В случае начала вооруженного конфликта между странами дистанционное управляющее устройство активизирует электромеханических "муравьев", которые начнут уничтожать (образно говоря, "пожирать") оборудование противника».

[Pillsbury, 2000; Ch.6]

Содержащаяся в тексте ссылка под номером 635 представляет собой английский перевод (напечатанный в другой книге, но тоже под редакцией самого М. Пилсбери) оригинальной статьи генерала Сунь Байлиня, опубликованной в трудах Министерства обороны Китая в 1996 году [Sun, 1996–1998]. При внимательной проверке выяснилось, что произошла грубая ошибка, так как Сунь вовсе не предлагал атаковать США. Его статья представляла собой просто отчет о поездке в США, где он в 1993 году посетил известную американскую военно-исследовательскую организацию RAND Corporation, занятую среди прочего разработкой электромеханических микроустройств военного назначения. В одном из отчетов RAND Corporation [Brendley and Steeb, 1993] упоминалась возможность использования «роботов-на-

секомых» в качестве будущего оружия Армии США. Потенциальные опасности и возможности террористических вылазок против самих США в отчете упоминались лишь мельком, в одном коротком абзаце[17], а китайский генерал... всего лишь добросовестно пересказывал содержание американского доклада.

История этой нелепой ошибки еще раз демонстрирует потенциально очень опасную «обратную связь», которая может привести к гонке вооружений. В данном случае переоценка возможностей военного применения НТ в сочетании с прозрачностью некоторых американских военных НИОКР могут оказать столь сильное воздействие на китайских военных стратегов, что они действительно активизируют собственные военные НТ-разработки (хотя бы в целях «обеспечения обороноспособности»). С другой стороны, вовсе не исключено, что американцы (возможно, исходя из более строгого режима секретности в Китае и малого числа доступных публикаций) постоянно воспринимают информацию о военных НИОКР Китая с преувеличенной тревогой. Такое взаимное недопонимание может легко спровоцировать дальнейшее нарастание опасений и вызвать неадекватное поведение сторон.

Аналогичный механизм взаимного недоверия и подозрительности существует в отношениях США с Россией (в будущем он вполне может возникнуть и в отношениях с другими странами, обладающими или развивающими новейшие НТ). Только строгие международные договоренности могут как-то ограничить опасность стремительного нарастания объема НТ-исследований и бурного развития и распространения новых военных систем.

Проблему можно решить лишь взаимными уступками и соглашениями: Россия, Китай и другие державы должны сделать свои военные НТ-разработки более прозрачными, а США, со своей стороны, должны продемонстрировать отказ от идеи достижения абсолютного военно-технического превосходства над всеми остальными странами. В главах 6 и 7 данной книги предлагаются и обсуждаются некоторые концепции, которые, по мнению автора, позволят ввести международные ограничения на развитие и распространение наиболее опасных военных приложений НТ.

ГЛАВА 4

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВОЕННЫХ ПРИМЕНЕНИЙ НАНОТЕХНОЛОГИИ

Эта глава посвящена общему обзору потенциальных военных приложений НТ, а также попыткам оценить временные рамки их возможной реализации и практического использования. В разделе 4.1 такие оценки проводятся на основе простой экстраполяции данных о современном состоянии исследований в различных областях нанонауки и технологии, а в разделе 4.2 эти оценки сведены в краткую таблицу. В разделе 4.3 рассмотрены проблемы развития и перспективы молекулярных технологий, которые могут показаться умозрительными или спекулятивными, однако читателю можно напомнить, что существование таких технологий не запрещено известными нам законами природы. Последний раздел главы (4.3) посвящен очень краткому обсуждению проблем создания систем противодействия, т.е. средствам обороны против создаваемых на основе НТ средств нападения.

4.1. Военные приложения НТ

Обзор возможных военных приложений НТ можно начать с использования наиболее известных свойств, присущих структурам и материалам в наномасштабе (биологи удачно называют такие характерные свойства «видовыми», так что, по-видимому, можно говорить даже о технологической «нише» существования нанотехнологии), а уже затем перейти к более специфическим применениям. В нашем случае наиболее характерной, «видовой» областью применения НТ можно считать, например, компьютеры и электронику, а специфи-

ческой областью – новые типы оружия, оценке которых посвящена данная книга. При составлении предлагаемого обзора автору пришлось пользоваться самыми разнообразными источниками (поскольку в настоящее время почти отсутствуют периодические и систематические обзоры состояния исследований в области НТ) и во многом полагаться на собственные мнения и соображения. Пока совершенно неясно, какие именно исследования станут основой для создания реальных типов оружия будущего, поэтому предлагаемый ниже перечень является весьма неполным, тем более что многие, наиболее перспективные военные разработки в области НТ уже засекречены и не обсуждаются в открытой печати. Естественно, что многие потенциальные возможности использования НТ в военной технике остаются невыявленными, а их значение станет очевидным и важным лишь в будущем. С учетом всего сказанного читатель вправе рассматривать предлагаемый обзор в качестве общего описания, являющегося исходной точкой для дальнейшего информационного поиска. Автор опирался в основном на американские публикации (в частности, на отчеты DARPA[1]), хотя в них, как отмечалось выше, отсутствуют сведения о некоторых весьма важных возможных применениях НТ в военной области (особенно для создания оружия массового уничтожения).

Разумеется, все приводимые ниже оценки сроков реализации проектов и внедрения результатов исследований в промышленное производство являются очень грубыми, поскольку время создания новой военной техники зависит от множества факторов (и не в последнюю очередь от уровня финансирования). С другой стороны, необходимо помнить о «сюрпризах» и неожиданностях, неизбежно сопровождающих любые крупные научно-технические начинания. На этом пути вполне реальны как неожиданные успехи и резкие прорывы в каком-то узком направлении из-за междисциплинарного обмена идеями и методиками (биолог назвал бы это «перекрестным опылением»), так и неудачи, обусловленные, например, возникновением практически непреодолимых технических препятствий. Все рассматриваемые ниже разработки автор, из соображений удобства, условно разделяет на следующие категории по срокам реализации:

- внедрение в течение ближайших 5 лет;
- внедрение в сроки от 5 до 10 лет;
- внедрение за период 10–20 лет;
- более 20 лет;

- умозрительная категория проектов, к которой можно отнести «фантастические» проекты, о возможности внедрения которых нельзя сказать ничего определенного, хотя их реализация не запрещена известными нам законами природы.

4.1.1. Электроника, фотоника, магнитные материалы

В микроэлектронике переход к нанотехнологиям является наиболее естественным и обещает прежде всего дальнейшую миниатюризацию отдельных компонент электронных схем, особенно после уже начавшегося внедрения устройств с применением нанотрубок и отдельных биомолекул. Общепринятая точка зрения сводится к тому, что технические применения в наномасштабе ограничены наличием квантовых эффектов, однако стоит учесть, что именно эти эффекты могут быть использованы разработчиками для достижения практических целей. Например, могут быть созданы быстродействующие вычислительные и другие устройства (практически не нуждающиеся в электропитании), основанные на использовании спиновых состояний электронов или атомов. В таких разработках, являющихся просто продолжением общего процесса миниатюризации электронных схем, внедрение нанотехнологий будет означать не просто дальнейшее уменьшение размеров транзисторов, но и в некоторых случаях создание принципиально новых электронных элементов типа механических резонаторов фильтров в гигагерцовом диапазоне частот.

В фотонике (генерация, передача, переключение и обработка оптических сигналов) использование НТ создает массу новых возможностей для конструирования и производства принципиально новых типов волноводов, фильтров, переходных устройств, модуляторов и т.п., причем настройка в оптическом диапазоне может осуществляться поглощением и излучением квантовых точек (см. раздел 2.1.4). Фотонными кристаллами называют структуры с периодически меняющимся коэффициентом преломления, благодаря чему свет (подобно электронам в обычном кристалле) может распространяться лишь на некоторых заданных частотах и/или в определенных направлениях. Сочетание таких структур позволяет создавать разнообразные устройства (волноводы, переключатели и т.п.) для передачи и обработки оптических сигналов [проекты AFOSR; Pomrenke, 2002: 44–50; NRL work: Kafafi, 2003: 12–17]. Интегральные микроэлектронные и нанофотонные схемы и устройства отличаются поразительной миниатюрностью, высо-

кой скоростью обработки данных (порядка нескольких террабит/сек, т.е. ~ 10^{12} бит/сек) и экономичностью [Pomrenke, 2002: 44].

Нанотехнологии позволяют развить сразу несколько направлений усовершенствования дисплеев. Прежде всего можно отметить эффект полевой эмиссии в электровакуумных приборах, позволяющий отказаться от нагреваемых катодов. Современный вариант решения этой классической проблемы состоит в том, что для обеспечения надежного и высокоточного сканирования электронного луча по экрану необходимо прилагать к острым концам щупов электронных микроскопов (например, изготовленных из нанотрубок) очень высокие напряжения. Устройства такого типа по-прежнему остаются вакуумными приборами, похожими по принципу действия на привычные электронные дисплеи, однако использование нанорешеток позволяет сделать их значительно более экономичными и (что гораздо важнее) плоскими [NRL work: Colton, 2003: 26].

В соответствии с еще одной предлагаемой нанотехнологией, в дисплеях могут использоваться органические молекулы, обеспечивающие очень яркое и легко регулируемое по цвету излучение. Метод позволяет, в принципе, создавать очень тонкие, легкие, гибкие и долговечные дисплеи (с размером пикселей в 12 мкм и даже меньше), пригодные к эксплуатации в очень широком температурном диапазоне, что дает возможность монтировать их внутри защитного шлема солдата или объединять с экипировкой каким-либо другим удобным способом [NRL work: Cafafi, 2003: 5–11].

В исследовании и использовании магнитных наноматериалов (номагнетиков) важнейшей вехой стало открытие в 1988 году так называемого эффекта гигантского магнитосопротивления (GMR), обусловленного тем, что при наложении магнитного поля электрическое сопротивление между тонкими слоями ферромагнитных и немагнитных материалов резко уменьшается [см., например, Goronkin et al., 1999; Koch, 1999]. Уже с 1997 года GMR-датчики стали использоваться в производстве считывающих головок для жестких дисков, позволяя добиться значительного увеличения плотности записи. Создавая очень тонкий слой изолятора (< 2 нм) между двумя слоями ферромагнетиков, можно обеспечить очень высокие значения туннельного тока, зависящие от взаимной магнитной ориентации участков магнитного материала, что позволяет использовать так называемые магнитные туннельные переходы в качестве ячеек памяти (запоминающих элементов). Уже сейчас такие магнитные запоминающие устройства прямого доступа (magnetic random access memory, magnetic RAM) превосходят по характеристикам существующие динамические устройства этого типа (DRAM), поскольку не требуют постоянного использования так называемой «видеопамяти» данных и сохраняют записанную информацию даже при выключении управляющей сети. Для иллюстрации ценности таких материалов можно упомянуть, что это позволит, например, мгновенно запускать компьютер без применения сложных загрузочных программ [DARPA Spintronics, 2003]. Создание объемных образцов нанокомпозитных магнитных материалов позволит также организовать производство мощных постоянных магнитов, что приведет к существенному повышению эффективности широко используемых в промышленности электромоторов и генераторов [DARPA MetaMaterials, 2003].

Объединение описанных возможностей в микроэлектронике, фотонике и разработке новых магнитных материалов может привести к существенному прогрессу в развитии компьютеров и коммуникационных сетей, так как эти качественно новые технологии обещают дальнейшую миниатюризацию используемых устройств с одновременным повышением их экономичности и быстродействия. Например, уже обнаружено, что углеродные нанотрубки могут выступать в качестве обычных электрических проводов, а на базе двух пересекающихся нанотрубок можно даже сформировать транзисторный переключатель.

Уже существует так называемая молекулярная электроника, в которой роль всех элементов электрической цепи (проводов, переключателей, ячеек памяти и т.д.) выполняют отдельные, специально подобранные молекулы. В связанной с этой проблемой программе DARPA отмечается, что «плотность монтажа» при использовании молекул может достигать уровня 10^{12} gates/см^2, а плотность записи в запоминающих устройствах достигнет 10^{15} бит/см^3 [DARPA Mole, 2003; см. также работы Chen et al., 2003, и особенно Service, 2003]. Стоит отметить, что приведенные выше значения плотности записи на четыре порядка (!) превосходят значения, достигаемые в лучших современных запоминающих устройствах, основанных на двухмерных МОП-структурах.

Производственные процессы с использованием НТ уже сейчас позволяют обеспечивать очень высокую степень миниатюризации и интеграции и собирать целые электронные системы многих типов в объемах порядка 1 мм^3 или меньше. Конечно, у разработчиков остается еще много проблем технического порядка, связанных, например, с питанием таких микроскопических устройств (пока не созда-

ны батарейки столь же малых размеров и т.д.). В некоторых случаях, когда проблему электропитания цепей удается решить новыми нестандартными способами (см. раздел 4.1.5), дальнейшее уменьшение общего объема схемы может сдерживаться другими вторичными факторами. Большие сложности связаны, в частности, с обеспечением надежной радиосвязи микроустройств друг с другом или с внешней системой управления, так как связь обычно зависит даже не столько от источников питания, сколько от наличия антенн относительно большого размера[2] (например, они должны иметь длину порядка нескольких сантиметров). Подытоживая сказанное, можно утверждать, что уже сейчас вполне реальным представляется создание сложных электронных устройств и систем весом в несколько десятков грамм и размером в несколько сантиметров. Такие параметры должны позволить легко «включать», т.е. монтировать, эти устройства в личное обмундирование военнослужащего или в какое-либо оборудование обычного типа. В очень близком будущем сложнейшие электронные системы будут монтироваться не только в крупногабаритных предметах армейского оборудования (автомобили, контейнеры и т.п.), но и в самых небольших и привычных деталях снаряжения (например, в винтовках, на биноклях или даже в элементах военной формы и обмундирования).

Возможные сроки реализации военных НТ-разработок оценить очень трудно прежде всего из-за разнообразия предлагаемых применений. Во многих областях использование НТ уже привело к началу длительного процесса модификации и совершенствования конкретных видов оружия, который может продолжаться десятки лет. Появления первых гибких дисплеев и спинтронных устройств можно ожидать через 5–10 лет, а принципиальные изменения (например, создание электронных устройств на основе нанотрубок и молекул) могут наступить только через 10–20 лет.

4.1.2. Компьютеры и коммуникационные устройства

Развитие вычислительной техники в течение последних десятилетий характеризуется непрерывным ростом ее быстродействия и мощности, сопровождаемым столь же непрерывным уменьшением характерных размеров микроэлектронных деталей и целых структур. Экстраполяция известного закона Мура позволяет предполагать, что к 2015–2020 годам разработчики компьютерного и коммуникационного оборудования должны перейти к использованию каких-то существенно новых принципов работы и структурных элементов. Например, электронные схемы, возможно, будут действительно создаваться на основе нанотрубок или даже отдельных молекул, а жесткие диски сменят наноразмерные запоминающие устройства без вращающихся деталей и т.д. В кибернетике, вероятно, получит дальнейшее развитие новая парадигма, основанная на решении очень сложных задач при параллельной работе огромных массивов или комплексов вычислительных систем (возможно, построенных из молекул ДНК и квантовых компьютеров), архитектура которых будет напоминать нейронную сеть человеческого мозга [DARPA Biocomp, 2003; DARPA QuIST, 2003].

В технике связи НТ-электроника и фотоника позволят значительно расширить частотные диапазоны и повысить эффективность их использования. Будут созданы новые высокоскоростные системы оптоволоконной связи.

Ожидается, что в течение ближайших двадцати лет объем памяти и быстродействие компьютеров возрастут на четыре порядка, что, естественно, потребует столь же значительного понижения их размеров и энергопотребления. При этом будет постоянно снижаться стоимость как самой вычислительной техники, так и ее эксплуатации, включая реальную стоимость в пересчете на отдельный процессор. Ожидается, что физический объем процессоров (обладающих характеристиками современных ПК) уменьшится до нескольких кубических сантиметров (или даже нескольких кубических миллиметров!), что позволит широко использовать их для самых разных целей и легко монтировать внутри самых разнообразных предметов военного оборудования и амуниции (от средств транспорта и винтовок до формы и отдельных боеприпасов). При необходимости микропроцессоры могут быть интегрированы с коммуникационными устройствами, дисплеями, устройствами ввода информации (клавиатурой и микрофонами), микродатчиками и приводами. Дальнейшая миниатюризация приведет к принципиально новым возможным применениям, таким как создание объединенных систем микродатчиков, систем наведения для самых небольших поражающих средств (снарядов и пуль), имплантируемых вычислительных устройств, микророботов и т.п. (см. разделы 4.1.10, 4.1.14 и 4.1.14 соответственно). Более того, при массовом производстве такие вычислительные и коммуникационные устройства могут затем быть объединены в более сложные и «гибкие» сети, способные непрерывно менять свою конфигурацию в зависимости от условий окружения. Сказанное может относиться не только к интересующей военных специалистов «боевой ситуации на

поле боя», но и к самым разнообразным задачам логистики и управления. В принципе, распределенная система датчиков позволит автоматически отслеживать изменение разнообразных параметров (например, ускорение, влажность, температуру и т.п.) в крупных системах (большие склады, огромные самолеты), передавать данные в центральную систему управления и осуществлять автоматическое регулирование условий.

С другой стороны, безусловно, будет продолжаться и совершенствование стационарных, крупных вычислительных систем, для которых стремление к миниатюризации вовсе не является существенным фактором развития. Рост памяти и быстродействия позволит исследователям значительно углубить и усовершенствовать методы моделирования сложных физических процессов, а также поведения материалов в особых условиях и даже живых организмов. Будут созданы новые типы тренажеров, позволяющие имитировать сложные ситуации и процессы, создавать «полноценное» виртуальное окружение и т.п. Прогресс в развитии программного обеспечения и систем искусственного интеллекта (см. раздел 4.1.3) позволит охватить автоматическим планированием, принятием решений и управлением боевую деятельность практически на всех уровнях: от командования действиями взвода до управления высшими стратегическими операциями. Возможно, такие подходы, постепенно трансформируясь, превратятся в некую новую систему почти автоматического принятия решений в военной сфере, очень напоминающую пути развития логистики и методов планирования в гражданском секторе экономики.

Практическое воплощение планов создания квантовых компьютеров на основе НТ приведет одновременно и к росту защищенности и секретности передаваемой информации, и к разработке более мощных средств расшифровки вражеских кодов. Фантастические возможности квантовых компьютеров создают новые возможности и обещают использование совершенно неожиданных методов решения сверхсложных задач оптимизации и ускорения расчетов при моделировании физических явлений.

По-видимому, в течение ближайших двадцати лет развитие вычислительной техники будет связано с прогрессом в области различных НТ, а общие характеристики вычислительных устройств будут изменяться (по крайней мере, в общих чертах) в соответствии с законом Мура. Естественно, совершенствование компьютеров должно создавать новые возможности их использования в военной сфере, однако сроки реального внедрения новшеств определить очень сложно (например, сама возможность разработки и практического использования упоминавшихся выше квантовых компьютеров может затянуться на десятилетия).

4.1.3. Программное обеспечение и искусственный интеллект

Программное обеспечение, или software (подразумевая под этим всю совокупность концепций, алгоритмов, теорий архитектуры ЭВМ и т.п., относящихся к вычислительным системам), на первый взгляд представляется независимым от собственно технических или аппаратных средств, или hardware. С другой стороны, конечно, реальная ситуация выглядит гораздо сложнее, так как значительное усиление возможностей аппаратуры практически всегда приводит к развитию новых концепций, позволяющих расширить области применения программного обеспечения. Читатель может вспомнить, например, блестящие результаты использования звука и изображений в существовавших ранее текстовых информационных файлах обычных персональных компьютеров. Именно таких неожиданных и эффектных результатов следует ожидать от новейших НТ-разработок в области технического совершенствования аппаратных средств.

В общетеоретическом аспекте для развития кибернетики огромную роль играла и продолжала играть проблема достижения компьютером интеллектуального уровня, сравнимого с уровнем человека (можно напомнить, что идея «искусственного разума» является классической и восходит к Средневековью). Еще на ранних этапах развития кибернетики ученые пытались «обучить» компьютер выполнению некоторых действий, которые привычно ассоциируются с сознательной, т.е. интеллектуальной, деятельностью человека. В частности, к задачам, связанным с созданием искусственного интеллекта, можно отнести распознавание изображений, игру в шахматы, перевод с языка на язык и т.д., так как большинство людей в нормальных условиях часто и легко осуществляют такие операции. Можно сразу отметить, что ни одну из этих задач пока не удалось решить полностью, хотя почти во всех достигнуты явные и внушительные успехи.

В разделе 3.1.2.3 уже упоминались некоторые проекты DARPA, ставящие своей целью достижение компьютерами интеллектуального уровня человека в смысле понимания окружающей обстановки и взаимодействия с другими людьми или устройствами. Ни одну из этих задач пока не удалось решить полностью, однако даже скептики при-

знают, что в обозримом будущем вычислительные системы уже смогут вполне эффективно выполнять следующие действия, напоминающие обычное поведение человека:

- общаться с использованием разговорной речи;
- достаточно правильно переводить речь с одного языка на другой в реальном масштабе времени;
- создавать обширные базы данных и находить в них необходимые сведения об инструментах и орудиях, требующихся для повседневной деятельности человека;
- зрительно воспринимать окружение в достаточной степени, чтобы перемещаться в этом окружении и даже манипулировать его элементами.

Уже сейчас создаются мощные вычислительные комплексы, предназначенные для осуществления стратегического планирования или решения боевых и управленческих задач. Проведение крупномасштабных боевых действий требует одновременного принятия множества отдельных автономных решений на всех уровнях управления, вследствие чего в будущих войнах станет привычным использование беспилотных автоматических боевых устройств и роботов самых различных типов. Управляющие такими устройствами системы сами должны обладать способностью адаптации к изменениям боевой обстановки и (в более широком смысле) к обучению либо в процессе работы, либо при общении с человеком-оператором.

Развитие программного обеспечения будет продолжаться непрерывно и должно привести к новым достижениям в области искусственного интеллекта, так что (в конечном итоге) этот термин почти неизбежно станет восприниматься и использоваться в своем буквальном смысле. Конечно, очень трудно указать точно, когда ученым удастся совершить прорыв в этом направлении, но еще сложнее представить, как люди начнут воспринимать программное обеспечение, компьютер или робот в качестве реальных «существ», намечающих и целенаправленно решающих какие-то собственные задачи или замыслы. Обсуждаемые проблемы кажутся сейчас умозрительными и спекулятивными, однако, исходя из предсказаний в работах [Williams and Kuekes, 2001; Kurzweil, 1999: Ch.6], можно с очень высокой степенью достоверности утверждать, что к 2020 году скорость обработки исходных данных даже в обычных персональных компьютерах не только достигнет, но и превысит возможности человеческого мозга (оцениваемые примерно мощностью 10^{16} операций/сек)[3]. В настоящее время совершенно неясно, приобретут ли реально

компьютеры (это можно назвать «квазиавтоматическим» приобретением) с таким или большим быстродействием какие-то черты или особенности, характерные для человеческого интеллекта. Возможно, что для достижения указанной цели исследователям необходимо добиться существенного «прорыва» в какой-то особой области программирования или в изучении механизмов функционирования самого мозга. Впрочем, активно участвующие в программе ННИ американские эксперты уверенно предсказывают, что к 2020 году компьютеры смогут наконец «выдержать» известный тест Тьюринга, т.е. окажутся способными поддерживать полноценный 5-минутный разговор на человеческом уровне общения [Williams and Kuekes, 2001]. Уильямс (2002 год) даже соглашается с предвидением Тьюринга, что при этом вычислительные машины обретут способность что-то и как-то «чувствовать».

В целом можно отметить постепенное и непрерывное совершенствование программных средств (идущее параллельно с развитием аппаратных средств), которое должно в ближайшие 5–10 лет привести к появлению первых роботов нового типа, способных почти «нормально» разговаривать с человеком и даже обладать довольно сложным и автономным «характером». Так называемое полное (на жаргоне американских кибернетиков «бесшовное») слияние или объединение автономных физических устройств, средств программного обеспечения и человеческого интеллекта пока продолжает оставаться весьма удаленной целью, о достижении которой можно будет всерьез говорить лишь через 20 лет или даже через больший промежуток времени. К этому же далекому будущему можно отнести и создание компьютерных систем, интеллект которых будет сравним с человеческим. Опыт прежних прогнозов развития науки учит нас скромности, но одновременно позволяет надеяться на неожиданности, открывающие совершенно новые перспективы.

4.1.4. Материалы

Одним из важнейших результатов развития НТ обещает стать появление большого количества самых разнообразных материалов с новыми свойствами. Для удобства рассмотрения их можно упрощенно подразделить на конструкционные (преимущественно металлы, сплавы и композиты), функциональные и так называемые активные материалы.

Композиционные материалы уже давно использовались в оборонной промышленности (можно вспомнить, например, что для повышения прочности и уменьшения веса авиационной техники широко

применяются пластики, армированные стекловолокном и углеродными волокнами). Развитие нанотехнологий привело в последние годы к возникновению совершенно нового класса таких материалов с повышенными характеристиками, а именно – *нанокомпозитов или композитов с нанопримесями*. Например, оказалось, что введение в термопластичные материалы добавок в виде слоистых силикатов сразу значительно повышает огнестойкость исходных веществ, делая их весьма ценным материалом для изготовления изоляционных покрытий силовых кабелей электропитания и другой важной аппаратуры. В некоторых композиционных материалах введение нановолокон позволяет почти вдвое повысить коэффициенты упругости и твердости, увеличить на 50 % прочность на растяжение и вязкость на растяжение, а также в 10 раз (на порядок!) снизить их проницаемость для различных жидких веществ. Чередуя в гибридных материалах тонкие слои жестких и пластичных полимеров, можно создать очень легкие и прозрачные щиты для индивидуальной защиты. Введение нанотрубок в качестве наполнителя придает некоторым композиционным материалам электропроводность и другие важные свойства. Кроме того, введение наночастиц в полимерную матрицу иногда повышает механические характеристики даже так называемых длинноволокнистых композитов, хотя механизм этого явления и степень влияния остаются неясными. Электропроводящие пластики могут найти самое широкое применение в аэрокосмической технике, например в качестве сигнальных проводов, устройств защиты от разрядов статического электричества, для создания разнообразных приводов и гибких электрических схем. Так называемые многофункциональные полимерные материалы могут быть использованы при изготовлении ракетных двигателей, динамичных и «разворачивающихся» в пространстве конструкций, а также при производстве многих стандартных предметов армейского оборудования (например, резервуаров, шин и т.п.).

Композиты с добавками углеродных нанотрубок обладают исключительно высокой прочностью на растяжение, что позволяет создавать на их основе качественно новые, высокопрочные и очень легкие конструкционные материалы (см. раздел 2.1.5). Возможно, такие материалы будут использованы при создании упоминавшегося там космического «лифта/башни», позволяющего доставлять грузы на геостационарную орбиту и обеспечивать дешевую доставку в космос грузов военного назначения для обеспечения боевых операций.

Известно, что одним из важнейших факторов, определяющих прочность вещества, является размер составляющих его кристаллитов, поэтому неудивительно, что наноструктурные металлы и сплавы обладают очень высокими механическими характеристиками [Koch, 1999; Busbee, 2002: 38, 39]. Структура обычных литых металлических материалов обычно состоит из зерен с размерами не ниже нескольких микрон, и лишь специальные методы порошковой металлургии позволяют получать наноструктурные беспористые материалы. Их упругие свойства остаются практически неизменными, но прочность и твердость увеличиваются весьма существенно (например, твердость обычно возрастает в 2–7 раз, прочность нанофазного алюминиевого сплава увеличивается на 60 % и т.п.). Для полноты картины стоит также отметить, что в некоторых случаях материалы с меньшим размером кристаллических зерен оказываются более хрупкими и жесткими. Повышение прочности и ударной вязкости может быть использовано для формирования наноструктурных покрытий, обладающих малым коэффициентом трения и высокой износостойкостью при экстремальных температурных условиях [Busbee, 2002: 40–42].

Кроме этого, внимание материаловедов все чаще привлекают так называемые аморфные материалы (сплавы), которые имеют нерегулярную структуру на наноуровне. Стоит упомянуть, что методы получения таких материалов обычно не связаны с нанотехнологией. Интерес к ним обусловлен тем, что они примерно вдвое превосходят традиционные, поликристаллические металлы по способности к упругой деформации [Christodolou, 2000; DARPA SAM, 2003; DARPA Fact, 2003; некоторые данные о возможности использования таких материалов в боеголовках можно найти в разделе 4.1.12]. Прочность и сопротивление растяжению этих материалов примерно в два раза выше (а ударная вязкость даже в три раза!) соответствующих показателей стали. Более того, их вязкость на разрушение возрастает с увеличением скорости деформации, что может быть использовано для получения материалов с повышенным сопротивлением воздействию взрывного заряда или баллистического удара. В некоторых случаях у таких материалов наблюдается также повышенная износостойкость и сопротивление коррозии. В этой связи уже сейчас активно изучаются аморфные железосодержащие сплавы, которые могут найти широкое применение в военно-морском флоте. Исследовательская лаборатория военно-воздушных сил США AFRL уже изучает возможности использования алюминиевых и титановых аморфных сплавов для авиационной и космической техники.

На основе изучения очень малых по размеру биологических объектов была выдвинута концепция создания новых материалов, образу-

ющихся самосборкой из простых биологических «блоков» по некоторой иерархической схеме. Метод уже позволяет синтезировать нано- и микроразмерные трехмерные структуры, а в дальнейшем может привести к технологии производства материалов из разветвленных молекул ДНК. Используя исходные блоки различной формы и соединение по специфическим методикам, можно перейти к созданию двух- и трехмерных сложных структур [Jelinski, 1999], которые можно будет затем применять, например, в молекулярной электронике [DARPA Budget, 2002: 3–11].

Из функциональных материалов можно выделить прежде всего нанокомпозитные постоянные магниты, имеющие огромное значение для развития силовой электроники (мощные диоды и транзисторы) и электродвигателей [DARPA MetaMaterials, 2003]. Еще одно очень перспективное направление исследований в области функциональных материалов – так называемое «самозалечивание» повреждений объектов за счет наноразмерных добавок в состав различных веществ [Busbee, 2002: 32]. Изготовленные из таких материалов нановолокна вполне могут быть использованы для создания тканей (с интегрированными в них датчиками и электронными соединениями) или в производстве нанопористых мембран для фильтрации, биологической защиты и т.п.

К активным материалам относятся те, которые способны изменять свою форму или даже создавать внутри себя определенные силы при контролируемом изменении внешних условий (классическим примером таких материалов могут служить пьезоэлектрики, вещества с эффектом памяти формы и т.п.). Материалы такого типа могут широко использоваться для обеспечения подвижности деталей военного снаряжения, «конечностей» роботов и т.п. Применение НТ может, с одной стороны, позволить значительно повысить используемые характеристики таких материалов, а с другой – создать их новые виды, например способные к «сокращению» молекулы, которые можно применять для организации движения экзоскелетов (см. раздел 4.1.6). В качестве альтернативы можно предложить биологические или гибридные материалы на основе миозина или кинезина. Активные молекулы, соединенные с датчиками, источниками энергии и устройствами обработки информации, превращаются в так называемые «умные» материалы, которые планируется в дальнейшем использовать, например, для изготовления аэродинамических элементов самолета, способных изменять свою жесткость и понижать вибрацию конструкции на определенных режимах полета и т.п. [DARPA Smart, 2003].

Естественно, что многие из этих перспективных материалов так и не будут запущены в производство и никогда не будут применяться практически (хотя бы по соображениям экономической целесообразности), однако в целом они обещают привести к революционным изменениям в материаловедении. Сроки реального внедрения таких материалов в производство оценить довольно трудно, однако можно предположить, что широкое использование нанофазных композитов и металлов начнется примерно через 5–10 лет, а промышленное производство высокопрочных материалов, армированных углеродными нанотрубками, – через 10–20 лет. Через 5–10 лет могут появиться экспериментальные образцы изделий с smart материалами, а примерно через 10–20 лет начнется коммерческое производство первых бионаноматериалов, хотя во всех перечисленных областях нельзя исключить возможность бурного технологического прорыва, обусловленного неожиданным успехом в разработке или применении новых подходов и веществ.

4.1.5. Источники и аккумуляторы энергии

Нанотехнологии, связанные с разработкой новых источников энергии (и устройств или материалов ее накопления, хранения и преобразования), в обозримом будущем будут развиваться, по-видимому, в двух главных направлениях: повышение энергетических возможностей существующих микроустройств (при одновременном уменьшении их веса) и развитие разнообразных новых устройств с очень низким энергопотреблением.

Основной задачей первого направления, очевидно, выступает создание новых типов топливных элементов и батарей, а также наноструктурных электродов и мембран. Миниатюрные топливные элементы уже сейчас широко используются в самых различных отраслях авиакосмической техники (электропитание беспилотных устройств, космических спутников и т.д.), а более крупные батареи и элементы (с мощностью в десятки киловатт и больше) применяются в наземных транспортных средствах, кораблях и т.п. Ожидается, что НТ позволят создать материалы для высокоэффективных устройств аккумулирования водорода и топливных элементов на этой основе, что, кстати, должно стать важным этапом на пути создания экологически чистых, «электрических» автомобилей.

Ожидается также, что на основе органических нанокомпозитов будут созданы гибкие и очень легкие солнечные батареи [DARPA Budget, 2003: 299], которые, безусловно, найдут самое широкое применение в промышленности и бытовой технике.

Нанотехнологические подходы предлагается использовать также при создании генераторов малой мощности для различных микросистемных технологий. Примером таких разработок могут служить программы DARPA Micro Power Generation и Small-Scale Propulsion Systems, направленные на создание очень небольших энергетических устройств с высокой удельной мощностью [DARPA MPG, 2003; DARPA SPSS, 2003]. Сочетание обычных углеводородных топлив, термоэлектрических преобразователей энергии, двигателей внутреннего сгорания, новейших топливных элементов и хорошо известных энергетикам реформинг-установок уже сейчас позволяет создавать устройства и батареи (мощностью от нескольких микроватт до 1 Вт), плотность энергии которых превосходит лучшие существующие образцы в десятки раз. Прототипы более крупных батарей (с мощностью до 20–60 Вт) разрабатываются сейчас в одной из программ DARPA специально для разнообразных предметов боевого снаряжения и небольших роботов [DARPA Energy, 2003]. Стоит отметить, что НТ используются в этой программе для решения нескольких проблем одновременно (создание более легких, более прочных и термостойких материалов; повышение износостойкости материалов и покрытий; синтез нанопористых мембран и т.д.).

Среди принципиально нового оборудования следует особо упомянуть возможность создания «собственных» электрогенераторов (их можно назвать телесными или даже соматическими), способных вырабатывать электрический ток просто за счет энергии движения человека, незначительных по величине градиентов температуры в теле человека или даже биохимических реакций человеческого организма. В одном из проектов DARPA/ONR предлагается просто имплантировать миниатюрные биотопливные батареи в организм солдата. Вводя внутрь кровеносных сосудов человека микроустройства (точнее, следует говорить о «монтаже» на стенках сосудов), в которых может происходить окисление глюкозы и восстановление кислорода (на специально сконструированных катодах и анодах соответственно), уже сейчас удается выработать в лабораторных условиях более 1 мкВт энергии в течение недели. Такие топливные системы и элементы могут применяться для питания микродатчиков, микроприводов и телеметрических систем слежения, введенных в организмы растений, животных и человека [DARPA Energy, 2002; Mano et al., 2002].

Некоторые относящиеся к энергетике нанотехнологии (например, связанные с солнечными батареями) могут быть реализованы в ближайшие годы, однако внедрение других может затянуться на 10–20 лет.

4.1.6. Реактивные двигатели

Полученные на основе НТ новые материалы, безусловно, найдут множество применений практически во всех задачах, связанных с реактивными установками и двигателями любых типов, хотя бы потому, что такие материалы (или покрытые ими поверхности) смогут выдерживать гораздо более высокие температуры и, следовательно, обеспечить большую термодинамическую эффективность. Кроме этого, использование новых материалов на основе НТ должно неизбежно приводить к повышению КПД за счет различных вторичных эффектов (уменьшение веса подвижных деталей двигателя, снижения трения на контактирующих поверхностях, упоминавшееся выше повышение износостойкости деталей и т.п.). Перечисленные преимущества в сочетании с микросистемными технологиями позволят создать практически новые типы сверхминиатюрных электродвигателей (см. раздел 4.1.5) для микротранспортных устройств (воздушных, наземных, водных) и микророботов.

При работе в очень небольших объемах или на очень малых масштабах неожиданно высокую практическую ценность могут приобрести электромеханические (и особенно электростатические) двигатели, производство которых может быть организовано на основе различных комбинаций MST и нанотехнологий. С другой стороны, сочетание этих технологий позволяет создать и совершенно новые, весьма эффективные электродвигатели малых (но не микроскопических) размеров для решения самых разнообразных технических задач. Например, в автомобильной промышленности возможность установки небольших по размеру приводных двигателей на каждом из колес (а возможно, даже и в тормозной системе) будет означать революцию в этой обширной научно-технической области. Такой подход позволит убрать из конструкции многие детали (коробку передач, сцепление, генераторы динамо и т.п.), в результате чего будет фактически создан «электрический» автомобиль[4].

Нанотехнологии предоставляют исследователям и инженерам массу принципиально новых возможностей для создания новых материалов по образцу разнообразных биологических структур и объектов. Выше уже упоминались способные к сокращению биомолекулы и материалы с эффектом памяти формы, которые явно «напрашиваются» в качестве новых составляющих подвижных конечностей или каких-нибудь «крыльев» микроскопических устройств и роботов.

Например, в Институте армейской нанотехнологии (см. раздел 3.1.6) сейчас изучают возможности использования полипиррола (полимера, способного сокращаться или расширяться в зависимости от величины

прилагаемого электрического поля) в качестве материала для создания «мышечной» экзосистемы роботов и т.п. [ISN 2, 2002; Talbot, 2002]. Другой технически очень интересный вариант применения биоструктур состоит в реализации существующих в природе механизмов движения наноразмерных биологических объектов, например бактерий, которые перемещаются, используя так называемые флагеллярные белки. Молекулярный мотор очевидно может быть также создан на основе молекул F1-АТФазы (содержащейся в мембранных митохондриях), а линейное (поступательное) движение может быть обеспечено химическими реакциями с участием миозина и кинезина [Jelinski, 1999]. Гибридный (искусственный/биологический) ротатор, действующий на основе механизмов АТФазы, уже создан при финансовой поддержке ONR, DARPA и некоторых гражданских ведомств [Soong et al., 2000]. Разумеется, в будущем, помимо этих и других природных соединений, будут использованы и их различные модификации или синтетические аналоги с улучшенными характеристиками.

Благодаря своей легкости и прочности созданные на основе НТ новые материалы должны найти широкое применение в ракетной и космической технике при создании разнообразных корпусов, структурных элементов, баков, насосов и т.п. В качестве абляционных материалов (например, для изготовления корпусов твердотопливных ракет) будут все шире использоваться очень популярные сейчас обугливающиеся (коксующиеся) композиты [Busbee, 2002: 34]. Новые материалы позволят создать миниатюрные двигатели для столь же миниатюрных ракетных установок. Например, в одной из программ DARPA (пока без упоминания нанотехнологий) предлагается создать жидкостную микроракету с турбонасосом, обеспечивающим реактивную тягу мощностью около 15 Н, что соответствует примерно 1,5 кг. Ракеты такого класса могут выводить спутники весом около 200 г на низкие околоземные орбиты [DARPA SPSS, 2003]. Некоторые данные по ракетным топливам приводятся в разделе 4.1.8.

В течение ближайших 5–10 лет нанотехнология может привести к заметному прогрессу в процессах производства, совершенствования и развития разнообразных ракетных и авиационных двигателей. Разработка миниатюрных или даже микроскопических двигательных установок (а также внедрение НТ в производство электродвигателей и ракетных установок разной величины) займет, по-видимому, примерно такой же срок. Значительно более длительное время (10–20 лет и больше) понадобится для создания первых рабочих образцов микродвигателей на биологической основе.

4.1.7. Транспортные средства

Производство более легких и прочных материалов (в сочетании с разработкой более легких и мощных двигателей) неизбежно должно способствовать прогрессу в конструировании и создании боевых транспортных средств обычного типа в самых различных средах (наземных, воздушных и даже подводных). Наибольшего прогресса, естественно, следует ожидать в авиации и космической технике, где снижение веса устройств имеет иногда принципиальное значение (некоторые применения НТ для космических исследований отдельно рассматриваются в разделах 4.1.6 и 4.1.18).

Новые материалы окажут большое влияние на развитие боевых транспортных средств также тем, что позволят быстро и значительно повысить прочность так называемого легкого бронирования. С другой стороны, в обозримом будущем защита из получаемых на основе НТ материалов не сможет конкурировать, например, со стальными листами (толщиной в дециметры!), используемой в современной бронетанковой технике. Поэтому в танках и крупных бронетранспортерах внедрение таких материалов на ближайшие годы ограничится пока новыми типами топливных элементов и батарей, совершенствованием электрооборудования двигательных установок и т.п. (см. раздел 4.1.11).

В далекой перспективе очень интересные возможности для развития авиационной техники обещают материалы с эффектом памяти, которые позволят значительно уменьшить вес многих важных деталей летательных аппаратов (закрылки, гидравлические приводы и т.п.). Снижение веса, естественно, будет способствовать установлению более мощных двигателей и/или дополнительного оборудования и вооружения. С другой стороны, стоит заметить, что эти преимущества могут и не играть особой роли, поскольку уже сейчас возможности маневрирования и ведения боевых действий самолетов ограничиваются главным образом способностью самих летчиков переносить физические нагрузки, связанные с пилотированием.

Более существенную роль использование НТ должно иметь в производстве и эксплуатации беспилотных летательных аппаратов, для которых новые технологии будут означать не только снижение веса, но и значительное повышение степени автономности за счет внедрения миниатюрных НТ-компьютеров. Новые вычислительные устройства позволят, конечно, уменьшить вес почти всей используемой авиатехники, однако они не решат существующих проблем, связанных с весом боевой нагрузки (некоторые авиабомбы имеют вес порядка тон-

ны!) и бортового вооружения (авиапушки и т.п.). В этих направлениях основной эффект внедрения НТ должен быть связан с разработкой более легких и точных средств поражения достаточной мощности. Существующая объединенная программа DARPA, состоящая из девяти подпрограмм создания и развития наземных и воздушных систем для боевых и гражданских беспилотных летательных аппаратов [DARPA TTO, 2003], не упоминает специальных разработок в области НТ, однако возможность использования результатов таких НИОКР в целостной программе представляется очевидной.

Малые беспилотные транспортные и боевые средства могут рассматриваться в качестве шага на пути создания боевых транспортных роботов макроскопических размеров. Ниже, в разделе 4.1.16, обсуждаются проблемы создания сверхмалых устройств и роботов на основе нанотехнологии и микросистемной техники.

Уже в течение ближайших пяти лет следует ожидать значительного обновления (апгрейда) электронного оборудования существующих боевых и транспортных средств за счет внедрения новых НТ-материалов и устройств. Затем (в течение последующих 5–10 лет) такие материалы и устройства будут широко внедрены в системы электропитания, управления и контроля, а приблизительно через 10 лет станут привычными и распространенными.

4.1.8. Ракетные топлива и взрывчатые вещества

Обычно ракетные топлива и взрывчатые вещества состоят из горючего и окислителя, при реакции между которыми выделяется химическая энергия и возникают газовые системы с высокими давлением и температурой. Именно давление таких газов создает механические силы, используемые в военно-технических целях (например, ракета ускоряется за счет отдачи вытекающих из сопла раскаленных газов, пули или снаряды вылетают из ствола, бомбы разрываются с образованием поражающих осколков и взрывной волны и т.п.). Горючее и окислитель могут представлять собой разные вещества (которые перед реакцией необходимо каким-то образом быстро смешивать) или быть объединенными в какой-либо сложной молекуле, как это имеет место, например, в случае известной взрывчатки ТНТ [тринитротолуол, $H_2C - C_6H_3(NO_2)_3$] и ее производных. В этих молекулах нитрогруппы NO_2 служат источником кислорода в реакциях с углеродом и водородом, а в результате детонации из атомов азота образуются молекулы N_2. Образно говоря, в таких сложных соединениях реагенты

просто «хранятся» во фрагментах молекул достаточно далеко друг от друга, а затем «сближаются» или смешиваются в момент намечаемой реакции. Плотность выделяющейся при реакции энергии (которую называют также теплотой взрыва при постоянном давлении) для ТНТ составляет около 4,5 МДж/кг [Ullmans, 1982: табл. 5][5].

Использование композиционных материалов с наночастицами позволяет с самого начала обеспечить очень высокий уровень перемешивания горючего и окислителя, приводящий к очень высокой скорости требуемой реакции. Риск случайного взрыва при перемешивании может быть при этом значительно снижен или почти полностью предотвращен применением золь-гель-методики, при которой в растворе сначала синтезируются наночастицы требуемого типа, после чего растворитель выпаривается, а образовавшиеся частицы (собственно золь) формируют трехмерные скелетные структуры с порами (гель). Этим способом уже давно производят известные термитные составы (смесь оксида железа с алюминием), широко используемые в разных поджигающих составах и при сварочных работах. Известно также, что аналогичным методом (получение геля из раствора) можно выращивать нанокристаллы весьма перспективных в военном отношении веществ, и этот способ уже используется для производства так называемых «внедренных» взрывчатых веществ (типа RDX и PETN, вводимых в матрицу оксида кремния).

Существует и более сложная методика, позволяющая формировать описанную выше золь-гель-матрицу непосредственно из компонент горючего, т.е. сразу синтезировать матрицу с заданным распределением наночастиц горючего и окислителя со строго выдержанным стехиометрическим соотношением. Более того, варьируя состав такой системы, можно даже регулировать процессы горения и энерговыделения [CMS, 2002: 41].

Еще более радикальной представляется идея создания молекул нового типа с очень высокой плотностью энергии. Некоторые из предлагаемых учеными методов выглядят весьма непривычными не только для химиков-традиционалистов, но даже и для энтузиастов молекулярных НТ с использованием ассемблеров и т.п. Например, в некоторых проектах предполагается «упаковывать» атомы горючего (азота, углерода или водорода) в очень компактные структуры, что должно позволить значительно повысить плотность содержащейся в них энергии. Для справки укажем, что показатели наиболее известных существующих взрывчатых веществ, а именно уже упоминавшегося тринитротолуола и нитрогликоля $(ONO_2)_2(CH_2)_2$, составляют

4,5 МДж/кг и 7,4 МДж/кг соответственно [Ullmans, 1982: табл. 5]. В качестве примера новых, необычных соединений можно привести гипотетические азотсодержашие фуллерены (например, $C_{48}N_{12}$), свойства и характеристики которых исследователи сейчас пытаются моделировать на компьютерах в Ливерморской национальной лаборатории США, для использования с окислителями различных типов (например, с перхлоратами или оксидами металлов). Основной вопрос заключается в том, окажутся ли новые типы взрывчатых веществ (синтезируемые пока лишь теоретически, методами абстрактного «молекулярного дизайна») достаточно стабильными для хранения и транспортировки. Исследователей вдохновляет надежда на существенное увеличение плотности выделяемой энергии (десятки процентов), причем некоторые специалисты даже считают, что новые методы позволят увеличить мощность взрывчатых веществ в два раза.

Аналогичные разработки ведутся относительно горючего для твердотопливных ракетных двигателей, где планируется значительное повышение удельной энергии топлива (но тоже не более чем вдвое), а также обеспечение более эффективного регулирования процесса горения. Новые взрывчатые вещества («запрограммированные» на уровне строения композитов, создаваемых при использовании НТ) планируется применять также в качестве запальных устройств [Burgess, 2002: 10].

Практического использования и широкого внедрения в военные программы взрывчатых веществ и реактивных топлив, создаваемых на основе НТ, следует ожидать примерно через 5–10 лет.

4.1.9. Камуфляж и средства маскировки

В принципе, нанотехнологии предоставляют разработчикам множество новых методов изменения цвета (или визуально воспринимаемой окраски) предметов и разнообразных поверхностей. 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 поверхностную 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, что предлагается в проекте [ARO Materials, 2001]. 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» [ARO Materials, 2001].

В качестве альтернативы можно предложить использование светопоглощающих материалов 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 инфракрасном диапазонах, причем коэффициент отражения такого покрытия для заданных длин волн можно регулировать в реальном масштабе времени. Помимо простого поглощения света в видимом диапазоне, такие маскировочные покрытия могут одновременно создавать в других диапазонах спектра (например, в инфракрасном) некоторые «отражательные паттерны». Такие узоры или образы можно будет видеть, используя специальные очки, и в боевой обстановке они должны служить своеобразными штрих-кодами, позволяющими отличать противника, т.е. идентифицировать участников «сражения» по известному в авиации принципу «свой/чужой» [Talbot, 2002]. Кроме этого, материал покрытия может содержать специально подобранные наночастицы, поглощающие излучение (радарное или инфракрасное) на заданных частотах.

Описанные камуфляжные или маскировочные покрытия могут быть, по-видимому, быть использованы практически примерно через 5–10 лет.

4.1.10. Распределенные датчики

Нанотехнологии позволяют производить практически неограниченное количество сверхминиатюрных датчиков (сенсоров) и других вос-

принимающих или следящих элементов, результатом чего может стать создание обширной и связной 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. Нанотехнология 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 [DARPA MOLDICE, 2003]. Наборы или решетки (arrays) термочувствительных нанодатчиков уже сейчас могут, например, воспринимать и создавать инфракрасные «изображения» целых клеток (без использования привычной для таких исследований сложной криогенной техники), а недостаточная 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 какие-то крупные предметы снаряжения и устройства (винтовки, сиденья транспортных средств, носилки, детали конструкции летательных аппаратов и многое другое), проще всего подключать их к общей системе этих крупных установок. Такие «распределенные» датчики, обеспеченные постоянной (возможно, проводной) связью и питанием, практически уже давно используются для логистики, контроля оборудования, слежения за состоянием окружающей среды и проверки условий безопасности.

Распределенные датчики, предназначаемые 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 беспроволочной связи (например, по радио или световыми сигналами). Существующие образцы датчиков боевого применения имеют размеры в несколько сантиметров [Blumrich, 1998], однако успехи микроэлектроники позволяют надеяться, что уже в ближайшие годы размеры снизятся до 1 мм, как предлагается в проекте Smart Dust [DARPA MEMS, 2003]. 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 является очень малым (речь идет о среднем расстоянии между

отдельными датчиками в весьма плотной системе датчиков, 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 могут быть чрезвычайно дешевыми, так что речь идет, собственно, о возможности использования в боевых условиях (образно говоря, на поле боя) огромного количества соответствующим образом распределенных сверхмалых датчиков, напоминающих пылинки, т.е. с размерами около 100 мкм или меньше. 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, т.е. учесть расположение 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. Такие распределенные датчики могут быть размещены в различных точках на длительный срок, причем во многих случаях не стоит даже беспокоиться о беспроволочной 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 использования огромного числа очень небольших датчиков для непосредственного контроля обстановки на поле сражения представляет собой интересную военно-теоретическую проблему, решение которой займет около 5–10 лет.

4.1.11. Броня и средства защиты

Нанотехнологии (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 (интересно отметить, что производство таких сплавов обычно относят к НТ, хотя реально оно связано с объемными процессами). Очевидно, что нанотехнологические процессы и материалы будут широко использоваться для модификации и повышения прочностных и иных характеристик отдельных элементов внешнего покрытия или активной бронезащиты.

Гораздо 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 бронебойных средств. Развитие НТ-материалов

(обычно на основе нанокомпозитов, структурированных волокон и т.п.) уже сейчас 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, которые разрабатывают планы их дальнейшего развития и использования в будущем. Надежную защиту от стрелкового оружия может обеспечить уже сейчас 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» [DARPA Budget, 2002: 173; 2003: 198].

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 рассматриваются в разделе 4.1.22).

На основе использования НТ-методов и материалов уже в течение ближайших 5–10 лет 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 персонала.

4.1.12. Обычные виды вооружений

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, благодаря меньшему весу такие новые виды стрелкового оружия (пистолеты, пулеметы, винтовки и т.д.) могут привлечь внимание криминальных элементов, анархистов, террористов или членов других незаконных организаций, что потребует более тщательного контроля за их производством и распределением. Кроме этого, 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, например, на основе НТ уже можно задуматься о создании новой системы глобальной навигации (возможно, поддерживаемой известной существующей системой GSP) 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 [DARPA MEMS, 2003]. 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[6]. 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 упоминавшихся только что сплавов, используемых для производства бронебойных сердечников. Дело в том, что удельный вес чистых вольфрама и

урана составляет 19,3 и 19,0 г/см^3, 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 даже 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[7] (которые часто относят к НТ-материалам, несмотря на то, что их получают обычными, объемными и давно известными 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 (см., например, работу [IPSE, 2003]). 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 локализированного сдвига вещества [Magness et al., 2001][8].

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 изготовляемые 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 постоянно 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, резко снизить вес, размеры и стоимость ракетной установки в целом (например, сократить ее длину до нескольких метров или даже больше). В связи с этим стоит упомянуть, что в документах Научно-технического управления (Science and Technology Board) военно-воздушных сил США уже упоминается даже вероятность какой-то миниатюризации «межконтинентальных тактических баллистических ракет» [NRC Comitee, 2002: Ch.6].

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 ве-

сом 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 и включающие в себя переносные зенитные комплексы) сейчас имеют длину около 1,5 м, диаметр ~ 0,15 м и вес около 20 кг, но в близком 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, они смогут точно попадать в двигательные установки самолетов, вертолетов и т.п.).

С другой стороны, развитие нанотехнологии и микросистемной техники позволяет задуматься о возможности создания «крошечных» ракет с диаметром несколько миллиметров (несущих, возможно, всего несколько грамм взрывчатки) и радиусом действия несколько десятков или сотен 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 сил 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 изготовляться без применения металлов) и могут быть даже включены в боевое снаряжение пехотинца MANPADS в качестве очень небольших безоткатных типов оружия. 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, некоторые из которых перечисляются в работе [EML, 2003]. 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/сек). Электромагнитное ускорение снарядов не связано с этим принципиальным ограничением, что делает его

чрезвычайно перспективным (но технически очень сложным) направлением развития всего этого направления 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.

В настоящее время очень трудно определить, насколько эффективным окажется применение НТ в области производства таких электромагнитных пушек, поскольку проблема в целом является комплексной. Она включает в себя разработки разнообразных 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.

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

В течение ближайших 5–10 лет можно ожидать появления новых типов легкого и стрелкового оружия из материалов, практически не содержащих металлов. Примерно в такие же сроки на вооружение поступят основанные на НТ современные системы управления для этих типов оружия. В зависимости от неясных пока результатов в исследовании свойств новых материалов, в течение следующих 5 лет можно ожидать появления новых типов бронебойной техники, а также упоминавшихся выше зарядов с заданной формой, что, возможно, даже приведет к появлению нового класса сверхмалых ракет и снарядов.

4.1.13. Индивидуальные системы военного назначения

Нанотехнологии дают возможность создать множество приспособлений и устройств, непосредственно связанных или просто входящих в

состав личного снаряжения военнослужащего, которые позволяют контролировать, поддерживать и усиливать самые разнообразные психофизиологические возможности человеческого организма. Простейшими устройствами такого типа являются обычные датчики, измеряющие стандартные функциональные параметры состояния человека (температуру, пульс, давление и т.п.). Следующий этап развития таких устройств, естественно, связан с разработкой так называемых химических датчиков, улавливающих и фиксирующих более тонкие и нестандартные параметры. Например, по одному из уже осуществляемых в ISN проектов создается датчик, измеряющий содержание веществ определенного типа (типа вырабатываемых организмом при стрессе молекул моноксида азота NO) в выдохе человека [Talbot, 2002]. В дальнейшем планируется создание системы практически не ощущаемых человеком микрозондов, способных отбирать из организма и анализировать микропробы тканей и физиологических жидкостей (типа крови, лимфы и т.п.), а также при необходимости вводить в организм требуемые препараты. НТ будут способствовать дальнейшей миниатюризации таких устройств и разработке внедряемых в организм микрожидкостных биочипов, способных осуществлять химический и биологический анализ состояния организма [DARPA BioFlips, 2003].

С другой стороны, НТ должны позволить создать систему терморегуляции человеческого организма за счет использования миниатюрных МСТ-насосов, прогоняющих терморегулирующие жидкости через полые волокна (или даже нановолокна) внутри боевого обмундирования. В дальнейшем такие насосы можно будет усовершенствовать с тем, чтобы они способствовали своевременной инъекции веществ, способствующих быстрой медицинской помощи при ранениях и т.п. Для медицинских целей можно предложить такие модификации военной формы, при которых некоторые элементы обмундирования можно будет изготавливать из «деформируемых» материалов, способных при необходимости затвердевать. Например, используя электроактивные полимеры, можно в некоторых случаях превращать элементы военной формы в медицинскую «шину» для фиксации сломанных костей и т.п. В некоторых осуществляемых ISN проектах для изготовления экзоскелета (внешнего скелета или каркаса военной формы) предлагается использовать полипиррол, способный создавать механические структуры, позволяющие поднимать тяжелые грузы, преодолевать препятствия, совершать очень далекие или высокие прыжки и т.д. [см. ISN 2, 2002; Talbot, 2002]. Изготовляемые на основе НТ фильтры могут применяться для очистки жидких выделений человеческого организма и их повторного использования [см. также ARO Soldiers, 2001].

Еще один интересный (и несколько неожиданный) подход для использования в области микроэлектроники связан с тем, что (за счет собственного движения и функционирования) человеческий организм способен вырабатывать (при применении, например, пьезоэлектрических материалов) очень небольшие по величине электрические токи, со средней мощностью от микроватта до милливатта. Конечно, генерируемые токи представляются весьма слабыми, но они могут оказаться вполне достаточными, например, для питания систем управления и обработки информации, которые обычно имеют очень низкий уровень энергопотребления. В будущем такой подход, возможно, позволит решить проблемы питания систем радиосвязи, требующих для поддержания работы энергии порядка нескольких ватт. Такой подход, конечно, неприемлем для обеспечения работы более сложных систем (например, терморегулирования, требующего энергопитания порядка нескольких сотен ватт), однако нельзя забывать и о возможности использования в обмундировании мощных топливных элементов, создаваемых на основе НТ.

Многие описанные устройства и датчики совместно входят в состав представленной на рис. 3.2 (раздел 3.1.6) военной экипировки «солдата будущего», предлагаемой дизайнерами Института армейской нанотехнологии. Появления нанесенных на тело датчиков можно ожидать примерно через 5 (самое большее, через 5–10) лет. Разработка систем контроля организма и введения лекарственных препаратов, а также «твердеющих» при необходимости деталей обмундирования, систем терморегулирования и т.п. займет еще несколько лет, так что создание согласованной, объединенной системы всех описанных компонент в единый комплекс боевой униформы должно занять более десятилетия.

4.1.14. Имплантируемые системы, регулирование жизнедеятельности человеческого организма

Следующим естественным этапом в исследованиях возможностей анализа, регулирования и повышения физических и интеллектуальных «боевых показателей» военнослужащего является введение разнообразных устройств непосредственно в организм, т.е. имплантация датчиков в тело человека. Такой подход представляется

совершенно естественным, поскольку в нормальных (природных) условиях всякое регулирование активности жизнедеятельности организмов осуществляется именно «изнутри». С другой стороны, необходимо учитывать, что любое вмещательство в жизнедеятельность человеческого организма без медицинских показаний представляется противоправным, вследствие чего практически любая попытка использования имплантантов в военных целях является не только незаконной, но и связанной с серьезнейшими морально-этическими проблемами. Некоторые соображения представителей военного руководства по этим вопросам приведены в работах [Armstrong and Warner, 2003; NRC Commitee, 2002: Ch.3].

Вообще, все предлагаемые выше устройства и датчики имеют своей целью контроль и управление (или даже усиление) функций человеческого организма, которые можно разделить на две основные категории, соответствующие работе физиологических систем живого организма на двух принципиально разных уровнях. Речь может идти, во-первых, об управлении функциями отдельных биохимических объектов (типа органов организма или просто клеток), а во-вторых, – об управлении процессами нервной системы в целом, т.е. о регулировании функций, связанных с передачей и переработкой информации. Разумеется, такое деление является весьма упрощенным и условным, хотя бы потому, что душевное состояние человека и его способность к восприятию реальности всегда как-то обусловлены биохимическим воздействием гормонов, нейропередающих агентов и т.п. Кроме того, в качестве еще одной категории управления функциями организма (возможно, не столь существенной, хотя это неочевидно) можно выделить чисто механические реакции организма и возможности их использования, регулирования и усиления.

Общий контроль функций первой категории (относящихся к состоянию органов, клеток и организма в целом) можно осуществлять достаточно легко и быстро, регистрируя, например, химический состав крови и выявляя состояние стресса, ранения или болезни. Более того, существует и возможность их быстрой «корректировки» за счет немедленного ввода требуемых биологических, химических или лекарственных препаратов. Очень важно, что применение вживленных датчиков должно позволить не только очень быстро выявить присутствие в организме опасных веществ (возможно, задолго до проявления внешних признаков поражения), но и гораздо раньше (т.е. эффективнее) приступить к их нейтрализации. Кроме того, контролируемое введение разнообразных химических агентов, лекарств и гормонов может использоваться для управления физическими или физиологическими функциями организма как в качестве чисто лечебных, так и возбуждающих средств (например, для снятия ощущения стресса или, наоборот, для повышения уровня агрессивности организма и т.п.).

Методы контроля и управления клеточными процессами постоянно совершенствуются по мере изучения их биохимических механизмов. В настоящее время в США осуществляется целый ряд исследований по замедлению или даже прекращению или остановке разнообразных клеточных процессов *in vivo* и *in vitro* с целью их использования в клеточном метаболизме, что позволило бы организму солдата сохранять активность и работоспособность в течение хотя бы нескольких дней (примерно до недели), причем под сохранением работоспособности подразумевается непрерывная деятельность без приема калорийной пищи, отдыха и сна (см. раздел 3.1.2.3). Почти все более ранние исследования в этом направлении основывались на биохимических методах, однако НТ открывают совершенно новые возможности, позволяя непосредственно и целенаправленно воздействовать на требуемые центры активности в органах или даже отдельных клетках организма.

Наиболее легко реализуемым применением НТ в этом направлении сейчас представляется введение в организм биосовместимых магнитных наночастиц, способных избирательно присоединяться к определенным типам молекул или клеточных структур. Пользуясь затем очень небольшими по размеру магнитными датчиками и устройствами, можно будет достаточно легко определять положение таких частиц в организме для диагностики и контроля состояния этих клеток. В принципе, такая методика, возможно, позволит (при использовании соответствующих магнитных «пинцетов») манипулировать введенными частицами, воздействуя на клеточные процессы или даже инициируя некоторые такие процессы, типа апоптоза, митоза, экспрессии белков и т.п. [DARPA BioMagnetICs, 2003]. В более общем плане такие манипуляции обещают в будущем возможность перехода к гораздо более существенным модификациям свойств человеческого организма в целом, что будет иметь важное значение для различных военных целей.

Изучение процессов в нервной системе (отнесенных выше к второй категории) в настоящее время осуществляется в основном при помощи разнообразных микроэлектродов, присоединяемых к нейронам, отдельным клеткам, группам клеток и воспринимающим цент-

рам для продолжительных исследований реакций этих структур под воздействием возбуждающих нервных сигналов. Кроме этого, вводимые в организм электроды уже широко применяются для стимуляции некоторых процессов (например, с терапевтической целью) и разнообразных медицинских исследований. В качестве примера можно привести использование давно известных систем электродов (так называемых «гребешковых» электродов), вводимых в мозг пациентов при лечении эпилепсии и болезни Паркинсона. В настоящее время врачи умеют вводить электроды даже в сетчатку глаза (для лечения некоторых видов слепоты), передавать по электродам сигналы от мозга или других нервных образований к клеткам эфферентной мышечной системы при лечении паралича (например, при повреждениях спинного мозга) и осуществлять целый ряд аналогичных операций. Эксперименты на животных и людях наглядно демонстрируют возможность установления прямого и длительного контакта с клетками нервной системы и головного мозга.

Собственно говоря, электронные имплантанты и микроэлектроды уже существуют и широко применяются, так что использование НТ в этой области скорее должно привести только к значительным усовершенствованиям уже существующей техники в некоторых конкретных направлениях:

- производство более высококачественных биосовместимых материалов;
- дальнейшая миниатюризация используемых микроэлектродов и обеспечение их более надежного контакта с нейронами;
- создание так называемых решеток (темплатов) с большим числом микроэлектродов[10];
- разработка имплантируемых электронных схем и устройств с минимальным потреблением электроэнергии, позволяющих обрабатывать информационные сигналы и изображения;
- создание источников питания на основе химической активности и ресурсов организма человека (см. раздел 4.1.5).

Существуют и разрабатываются и другие, почти фантастические проекты использования НТ для обеспечения принципиально новых контактов с клетками мозга и нервной системы. В одном из них, например, предлагается вводить электроды (в виде изолированных нанопроводов) непосредственно в мозг человека по кровеносным сосудам, что позволит отказаться от сложнейших операций по вскрытию черепной коробки и т.п. [Llinas and Makarov, 2003]. Еще более необычным и смелым выглядит предложение по созданию контактов (нейрон/электрод) за счет их «наращивания», возможно носящего даже взаимный или направленный характер.

В принципе, существует очевидное (и даже напрашивающееся) применение описанной выше электродной техники для повышения боеспособности и возможностей отдельного военнослужащего. Оно заключается в том, чтобы ввести электроды непосредственно в мозг или нервную систему, а затем ускорять и/или усиливать возникающие в мозгу сигналы, соответствующие намерению совершить конкретное физическое действие (например, обеспечить более быструю передачу электрического импульса, задающего «сигнал» сместить рычаг управления, нажать кнопку запуска ракеты и т.д.). Это позволяет значительно быстрее передавать сигналы от нервной системы к мышцам и, следовательно, быстрее приводить в действие автоматические и механические устройства. Легко проверить, что использование вживленных электродов и «прямой» передачи сигналов позволяет выиграть примерно 0,1 секунды времени (стандартное время физиологической реакции человека), что может дать решающее преимущество в реальных условиях современного военного поединка (например, воздушного). В этой связи особый интерес представляет описанная в разделе 3.1.2.3 программа DARPA Brain Machine Interface, посвященная исследованию возможностей человека реагировать на внешние сигналы.

Кроме этого, описываемые имплантанты можно использовать и для усиления воспринимающих систем организма человека, примером чего может служить предлагаемая в проекте [ARO Soldier, 2001] возможность расширения воспринимаемого диапазона световых и звуковых сигналов. В принципе, такой подход позволит солдату в будущем не только «видеть» в инфракрасном и ультрафиолетом диапазоне, а также «слышать» инфразвуковые и ультразвуковые сигналы, но и воспринимать радиоактивное излучение и даже наличие некоторых химических и биологических веществ в окружении. Датчики будут воспринимать состояние окружающей среды посредством своих электронных контактов и передавать обработанную информацию непосредственно в мозг человека, который, конечно, должен будет проходить соответствующий курс обучения и адаптации к используемым устройствам. Возможно, например, что создаваемые с применением «искусственного зрения» изображения будут несколько расплывчатыми и туманными, поскольку очень трудно обеспечить точный контакт электродов с огромным количеством нейронов зрительного нерва (около 1 миллиона контактов в глазу человека!).

На семинаре по военным применениям нанотехнологий (см. раздел 3.1.6) подробно обсуждались проблемы создания контактных устройств, обеспечивающих передачу получаемых от датчиков данных к имплантированным в организм системам обработки информации, а также перевода этих данных в нервную систему и мозг военнослужащего. Передача образных представлений и простых понятий может осуществляться, например, через афферентную нервную систему, однако пересылка более сложных сообщений, паттернов или ощущений требует наличия каких-то принципиально новых контактов и взаимодействий с теми участками коры головного мозга, которые непосредственно отвечают за процессы мышления и сознания. Такая задача пока представляется невыполнимой из-за ограниченности наших знаний и возможностей в этой области, а ее решение потребует существенного прогресса в развитии фундаментальных представлений о функционировании мозга и высшей нервной деятельности человека. При этом, разумеется, следует помнить и о серьезнейших этических и моральных проблемах и ограничениях, постоянно связанных с любыми экспериментальными исследованиями работы человеческого мозга.

В области усиления чисто физических возможностей организма солдата одна из программ предлагает создание «объединенной системы искусственных тканей, мускулов, костей и сухожилий с улучшенными свойствами и характеристиками» [ARO Soldier, 2001].

Разработки крупномасштабных проектов, связанных с модификацией биохимических процессов в человеческом организме, могут начаться только через 5–10 или даже 10–20 лет. Примерно через 10–20 лет можно также ожидать сколь-нибудь заметного прогресса в развитии методов направленного манипулирования процессами внутри биологических клеток организма. Имплантируемые устройства, контроль над состоянием организма, а затем и автоматическая корректировка физиологических реакций (введением соответствующих лекарственных препаратов или агентов) начнут реализовываться примерно через 5–10 лет. Несколько большее время займет разработка вживляемых в мозг или нервную систему электродов, способных передавать сигналы к действию и простые образы. Пока совершенно неясно, когда ученым удастся создать хотя бы простейшие системы для передачи в кору больших полушарий мозга достаточно сложных представлений и мыслей. Появления первых реальных образцов искусственной скелетно-мышечной системы человека с использованием НТ можно ожидать через 10–20 лет.

4.1.15. Автономные и беспилотные системы

Хотя в названиях разнообразных проектов и НИОКР в области военной техники вот уже десятилетиями применяется термин «автономные системы», говорить об их реальном использовании вооруженными силами пока еще рано. Исключение составляют лишь небольшие беспилотные летательные средства (на армейском жаргоне в США их называют «дронами», по имени вымершей птицы), осуществляющие главным образом разведку и наблюдение, хотя есть сведения об одном из таких устройств, снабженном позднее ракетным двигателем[11]. В настоящее время по проекту Advanced Aerospace Systems уже начата разработка автономных беспилотных устройств, предназначенных непосредственно для проведения боевых действий [DARPA Budget, 2003: 213–225]. Хотя пока нанотехнологии в этой связи не упоминаются, их использование представляется очевидным, поскольку именно они могут привести к завершению некоторых разработок. Дело в том, что создание реальных прототипов автономных боевых устройств или роботов неизбежно требует применения достаточно мощных компьютерных систем, прочных новых материалов, высокоэнергетических двигательных установок, модификации вооружения и решения многих задач, непосредственно связанных с НТ. Детальный анализ проблемы создания боевых роботов займет слишком много места, поэтому ниже дается лишь очень краткое описание состояния дел в этой области исследований с упором на возможные применения НТ.

Под автономными системами подразумеваются любые подвижные устройства, двигающиеся без участия экипажа, способные менять скорость и направление движения, реагировать на изменение окружающих условий и имеющие размеры около 0,5 м или выше (более мелкие системы, обычно причисляемые к классу мини/микроробототов, рассматриваются ниже, в разделе 4.1.16). В эту категорию попадают наземные, подводные, воздушные и космические средства передвижения. Перемещение описываемых систем может осуществляться с использованием как традиционных (колеса, гусеницы, реактивные двигатели), так и нестандартных методов (например, при помощи конечностей или машущих крыльев), поскольку роботы могут иметь самый разный вид, включая грубое сходство с человеком. В определении понятия «робот» (автономная система) основной упор делается на «самостоятельность» устройства при выполнении некоторых задач (например, поиске цели, положение которой неизвестно заранее). Поэтому многие типы вооружения (например, самонаводя-

шиеся и крылатые ракеты привычного типа, которые в основном предназначены для поражения заданных целей) можно назвать роботами лишь с большой натяжкой. С другой стороны, очевидно, что поиск цели требует наличия в системе некоторого дополнительного оборудования, вследствие чего определение термина «робот» должно быть каким-то образом уточнено.

В категорию роботов принципиально должны быть включены системы, специально создаваемые для действия и перемещения в сложном окружении, характеризуемом некоторыми ограничениями (например, в замкнутых производственных помещениях, при управлении индукционными устройствами и т.п.). Однако следует помнить, что основной упор должен делаться на способность систем совершать достаточно сложные операции без дополнительных «указателей», предварительно распределенных в сфере их действия.

Выше речь шла лишь о способности систем к самостоятельному передвижению, но при более серьезном и строгом подходе следует говорить вообще о функциональной автономности, подразумевающей несколько уровней сложности поведения, т.е. некоторое постепенное нарастание автономности. На одном конце такой шкалы можно поместить очень простые системы с постоянным и полным дистанционным управлением, а на другом – системы, способные не только самостоятельно передвигаться в пространстве, но и принимать решения о выполнении некоторых действий, исходя из представлений об общей или конечной цели. Системы с промежуточной автономностью могут осуществлять самостоятельные действия лишь в ограниченной степени (например, при внешнем контроле над основными функциями и действиями). Возможна также ситуация, когда внешний дистанционный контроль будет осуществляться лишь при выполнении некоторых специфических, строго определенных действий (например, система не «смеет» самостоятельно приводить в действие взрывное устройство). Собственно говоря, именно сложность разделения внутреннего и внешнего управления или необходимость быстрой «смены» принципов управления не позволяет легко и просто включить функциональную автономность в определение автономных систем или роботов.

Автономные системы военного назначения удобно подразделять на вооруженные (носители оружия и/или заряда) и невооруженные. Строго говоря, разнообразные автоматические устройства военного назначения уже давно широко используются для решения самых разных задач: в системах управления, транспорта, обеспечения безопасности и охраны территории, радиосвязи, поиска и спасения военнослужащих, разминирования и т.п. Более того, следует также учитывать, что различные небольшие автоматические устройства уже очень давно используются и входят в состав самых различных систем оружия: от стрелкового до ракетно-ядерного, химического и т.п.

В армиях будущих войн наземные автономные устройства, роботы и системы будут представлены в основном колесными и гусеничными боевыми и военно-транспортными устройствами типа вездеходов, включая подвижные средства особого назначения (ракетные и артиллерийские установки, радары, передвижные командные пункты и т.д.). Отсутствие экипажа позволит прежде всего снизить вес таких устройств, хотя понятно, что тяжеловооруженные машины (например, пушки с калибром > 5 см) будут по-прежнему весить десятки тонн. Появятся транспортные средства нового типа, например передвигающиеся при помощи каких-то «конечностей» роботы, принимающие необычную форму и даже способные перемещаться, адаптируясь к сложным особенностям окружающего их природного или городского ландшафта (например, к условиям городской или промышленной застройки). Возможно, некоторые из этих устройств получат способность передвигаться по дну рек и озер, что предлагается в некоторых проектах DARPA (см. раздел 3.1.2.3).

Автоматическими системами управления будут снабжены, по-видимому, в первую очередь небольшие надводные и наземные транспортные средства, в то время как управление более крупными подвижными установками (особенно несущими ракетно-ядерное вооружение) будет еще долго оставаться в руках человека. По-видимому, очень долго будет продолжаться и служба личного состава на крупных подводных лодках стратегического назначения, а небольшие и малые подводные лодки (используемые для наблюдения, патрулирования, сопровождения или в качестве самонаводящихся «торпед») могут стать полностью автономными, т.е. действовать без экипажа, выступая в качестве автоматических устройств.

Практически все виды боевых машин военно-воздушных сил (включая вертолеты, самолеты с меняющейся геометрией крыла и т.п.) станут в будущем беспилотными, что уже давно диктуется весьма сложными обстоятельствами развития авиационной техники. Прежде всего автоматика позволит значительно снизить вес боевых машин за счет отказа от кабины пилота и системы обеспечения его жизнедеятельности. Не менее важно и то, что беспилотный самолет сможет двигаться с гораздо большим и длительным ускорением (т.е. выпол-

нять гораздо более сложные действия), поскольку маневренность современных пилотируемых аппаратов определяется в первую очередь именно способностью летчика переносить возникающие при пилотировании нагрузки[12]. Более высокие летные качества могут оказаться решающим фактором современного воздушного боя (разумеется, при условии, что программа управления окажется достаточно «умной» или осуществляющий дистанционное управление человек-оператор будет иметь достаточно быструю реакцию). Применение НТ дает и дополнительные преимущества, связанные просто со снижением общего веса боевых машин из-за использования более легких материалов и устройств, хотя этот фактор играет незначительную роль, поскольку основные параметры в целом определяются размерами и весом двигательной установки, бомбовой нагрузки и вооружения.

С другой стороны, использование НТ может привести к значительному совершенствованию конструкции различных стационарных наблюдательных устройств (типа дирижаблей), прежде всего за счет применения в конструкциях полых мембранных структур, более прочных конструкционных материалов, более эффективных солнечных батарей и т.п. Такие аппараты, зависающие в атмосфере на значительной высоте (15–20 км), смогут применяться для длительного контроля и наблюдения над обширными территориями, для организации радиорелейной связи и многих других целей. Созданию такого устройства, заполненного водородом, посвящен один из проектов DARPA, в котором, однако, не упоминаются НТ [DARPA Budget, 2003: 177]. Воздушные аппараты этого класса, по всей видимости, будут очень легкими и низкоскоростными, в результате чего они по-прежнему останутся достаточно уязвимыми для средств противовоздушной обороны.

Разнообразные автоматические устройства, естественно, найдут широкое применение в космосе как при обслуживании и ремонте собственных спутников, так и для «захвата» или иного воздействия на спутники противника. Для развития таких автоматических аппаратов снижение веса (обусловленное возможным применением НТ-устройств и материалов) может стать исключительно важным и перспективным направлением.

Что касается возможных сроков реализации перечисленных выше проектов и планов, то промышленное производство разнообразных наземных и подводных устройств с использованием НТ начнется примерно через 10–20 лет. Возможно, еще раньше, примерно через 5–10 лет будет создан первый беспилотный самолет на основе НТ. Разработка более сложных автоматических устройств и роботов может затянуться на целые десятилетия.

4.1.16. Мини- и микророботы

Характерные преимущества и особенности НТ наиболее ярко проявляют себя при создании малых и сверхмалых автоматических устройств и роботов, причем деление по размерам вводится лишь для удобства и является чисто формальным. Малыми или минироботами называют устройства размером меньше 0,5 м, а микророботами (сверхмалыми роботами, минироботами, миниатюрными роботами и т.д.) – устройства с характерными размерами менее 5 мм. Такие роботы могут применяться практически во всех средах, от подводных глубин до космического пространства (ниже, в разделе 4.1.18, отдельно рассматриваются проблемы использования микророботов именно в космосе, где законы носят достаточно специфический характер). Применяя методы МСТ, уже сейчас можно создать микророботы размером несколько сантиметров или даже миллиметров[13], а нанотехнологии должны позволить уменьшить размеры таких автоматических микроустройств до 0,1 мм (а затем и 10 мкм), хотя стоит отметить, что и последняя величина еще на порядки превышает значение в 100 нм (считающееся «пороговым» для размеров нанороботов и молекулярных ассемблеров в теориях молекулярной нанотехнологии). Однако уже при создании микро- и минироботов (размером от 0,5 м до 10 мкм) конструкторам неизбежно придется использовать наноструктурные материалы и устройства прежде всего в качестве соответствующих источников питания, преобразователей энергии, датчиков, процессоров, приводных механизмов и т.д.

Очень малые размеры рассматриваемых роботов сильно ограничивают возможности их нагрузки, что создает серьезные проблемы особенно в отношении энергоснабжения и связи, поскольку такие устройства, естественно, могут поглощать и/или аккумулировать, например, очень малые количества энергии и вещества. Уменьшение размеров создает особые сложности при конструировании сверхмалых датчиков, так как они оказываются способными регистрировать лишь очень малые порции вещества и излучения, что компенсируется лишь в редких случаях (например, при детектировании некоторых химических соединений) повышением чувствительности самих наноэлементов. Естественно, например, что использование миниатюрных антенн резко ограничивает их способность регистрировать ра-

диосигналы и формировать сигналы излучения при передаче сообщений (расходимость или ширина пучка излучения из-за дифракции увеличивается пропорционально отношению размера антенны к длине волны излучения, т.е. обратно пропорциональна размерам самой антенны). Кроме этого, подвижность микроскопических механических устройств также естественно уменьшается, поскольку силы трения (вязкость среды) при миниатюризации объектов относительно возрастают, что играет очень важную роль при движении микрочастиц в воздушной или водной среде. Физический анализ особенностей движения микророботов содержится в работе [Solem, 1994].

Ограничения в нагрузке, чувствительности и дальности передачи сигналов могут частично компенсироваться небольшим расстоянием устройств от цели или друг от друга (последнее условие может подразумевать использование очень большого количества микророботов), а ограничения в скорости передвижения и дальности действия могут быть преодолены применением дополнительных, более крупных систем, которые могут, например, доставлять микроустройства к месту назначения и распределять по заданной программе. Транспортировку к месту боевых действий или других операций можно осуществлять самолетами (включая маленькие беспилотные аппараты), ракетами, артиллерийскими снарядами и другими носителями, а самые миниатюрные микророботы, возможно, будут просто распыляться в воздухе при подходящем направлении ветра.

Ходовая часть (двигательная установка) мироробота может быть сконструирована на основе уже известных технических принципов (колеса и гусеницы для наземных устройств, винты – для движения в водной среде, пропеллеры и ракетные двигатели – в воздушной и т.д.). Конечно, при создании самых миниатюрных устройств конструкторы могут использовать биомиметические или совершенно иные принципы передвижения. Например, микроустройства могут передвигаться подобно насекомым (для чего их «щупальца», возможно, должны будут обладать повышенной липкостью, позволяющей перемещаться по вертикальным или даже нависающим поверхностям) или передвигаться прыжками, пользуясь выдвижными «конечностями-стержнями» с импульсным или взрывным механизмом действия. Для перемещения в водной среде такие микророботы можно будет «оборудовать» вращающимися жгутиками или подвижными плавниками, а те из них, которые предназначаются для работы в разных средах, могут быть, подобно крабам или ракам, снабжены клешнями и ножками. В воздушной среде микророботы могут перемещаться подобно насекомым, взмахивая крылышками и т.д. [Biodiversed and Bioinspired Materials: DARPA Budget, 2003: 205–208]. Разумеется, в будущем для создания приводов в таких устройствах могут быть изучены и применены биомиметические принципы, используемые самой природой при работе мышечных систем самых разнообразных живых организмов.

По понятным причинам совершенно особые требования предъявляются к отдельному классу микророботов, уже получивших широкую известность и ставших популярными благодаря литературе, кино и средствам масс-медиа. Речь идет о крошечных устройствах, специально создаваемых для перемещения и работы внутри человеческого организма. Медицинские микророботы в виде крошечных «субмарин», плавающие по кровеносной системе человека, становятся в последние годы все более распространенными, а в будущем они, конечно, найдут широкое применение в военной медицине.

Даже «невооруженные» мини- и микророботы явно представляют огромный интерес для военных кругов (в качестве средств наблюдения и разведки, исследования возможных маршрутов следования, детектирования химических и биологических агентов, систем связи и управления, создания локальных помех для радиосвязи противника и т.п.), что нашло отражение во многих проектах DARPA [DARPA Budget, 2003: 178, 179; 186–189; 341–346]. В качестве средств наведения они могут использоваться также совместно с более крупными системами вооружений. Малые размеры микророботов не являются, кстати, препятствием для их прямого применения в боевых действиях, так как во многих случаях точность воздействия оказывается важнее его мощности. Миниатюрные роботы могут, например, разыскать требуемый объект, проникнуть в заданную точку и там механически или направленным взрывом уничтожить важный узел установки противника, выделить токсические вещества и т.п. Даже очень небольшие объекты, обладающие достаточно высокой скоростью и кинетической энергией, могут нанести опасные или смертельные повреждения не защищенному от удара человеку[14].

Кроме того, массовое применение распыленных в воздухе микророботов может оказаться эффективным средством борьбы с техникой противника (например, они могут перекрывать смотровые отверстия или воздухозаборники многих боевых машин, повреждать рабочие поверхности и т.п.). Весьма возможно, что в будущем именно направление развития станет ведущим, т.е. новым оружием станут «рои» или «стаи» похожих на насекомых минироботов, обладающих внутренней связью и некоторым «распределенным интеллектом».

Такие стаи будут самостоятельно разыскивать цели и уничтожать их коллективными действиями. Разумеется, разработка программного обеспечения для таких сверхсложных систем включает в себя целый комплекс исключительно трудных задач, и их решению уже посвящены некоторые из программ DARPA (см. раздел 3.2.3). Среди предлагаемых разработок выделяется проект с красноречивым названием Piranha [DARPA Budget, 2003: 374, 375; 410, 411], в соответствие с которым планируется создание стаи боевых подводных микророботов (такую стаю было бы правильнее назвать «косяком»). В проекте Software for Distributed Robotics [DARPA SDR, 2003] будут изучаться вопросы общего управления системами таких распределенных микроскопических устройств. Некоторые другие разработки аналогичного типа упоминаются в разделе 3.1.2.3.

Появления первых образцов созданных на основе НТ минироботов можно ожидать через 5–10 или даже 10–20 лет, а специализированных (медицинских и боевых) микророботов – не ранее чем через 10–20 лет. Примерно к этому же сроку получат распространение и микророботы для осуществления хирургических операций внутри человеческого тела.

4.1.17. Биотехнические гибридные устройства

Параллельно с созданием «полностью искусственных» роботов ведутся интенсивные разработки по конструированию и созданию биотехнических гибридов из животных или насекомых, в организмы которых имплантируются наноустройства разного типа и назначения. Использование различных животных в военных целях имеет весьма давние традиции, но появление биотехнических гибридов открывает в этой классической области совершенно новые возможности и перспективы. Огромным преимуществом гибридов является то, что живые организмы могут выполнять множество функций и задач, причем именно тех, которые конструкторам очень трудно реализовывать в искусственно создаваемых структурах (получение и переработка энергии и информации, системы восприятия окружения, способность совершать сложные движения и т.д.). Некоторые из требуемых компонент гибрида (датчики, средства связи) сейчас могут просто «монтироваться», т.е. прикрепляться к организму животного или насекомого. Однако прогресс существующих и развиваемых микросистемных технологий позволяет сделать многие элементы (датчики, контакты с нервной системой и мозгом, электронные схемы, система питания) настолько

миниатюрными, что их даже сейчас можно имплантировать в организмы мелких животных (типа мышей и крыс), птиц и рыб. Развитие НТ обещает быстро сделать эти элементы настолько миниатюрными, что их можно будет «имплантировать» даже в тела мелких насекомых типа москитов или плодовых мушек, хотя, конечно, организация сколь-нибудь массовой имплантации наноустройств в организмы насекомых потребует разработки экономически обоснованных технологий для этой достаточно сложной процедуры.

К первому успеху в этом направлении следует отнести имплантацию микроэлектродов в кору мозга крыс (при раздельном воздействии на левое и правое полушария) с целью дальнейшей тренировки сигналами, подаваемыми в так называемый «центр удовольствия» [Talwar et al., 2002; DARPA SUNY, 2003]. Читатель может легко вспомнить знаменитые эксперименты подобного типа конца 50-х годов по самостимуляции мозга подопытных животных [Olds, 1958], а современные экспериментаторы осуществляют на этой основе дистанционное управление поведением в сложных лабораторных условиях. Прямым военным применением описываемого метода может стать «заброска» крыс в определенный район и управление их поведением с целью, например, получения и передачи изображений требуемых объектов. При этом формирование изображения может осуществляться с использованием как зрительной системы и мозга самой крысы, так и посредством миниатюрной телекамеры, имплантированной в тело животного или закрепленной на нем. Проблема мощности (и, соответственно, дальности) передаваемого сигнала может быть решена за счет расположенного поблизости более мощного передатчика-ретранслятора, который может находиться, например, на борту миниатюрного беспилотного самолета, летающего над изучаемой территорией. Система управления поведением крысы может быть в дальнейшем значительно усложнена и преобразована в автономную (при вживлении в мозг соответствующих чипов или микрокомпьютеров).

Исследование и использование функциональных возможностей животных одновременно позволяет получать и очень ценную научную информацию, которая позднее может быть применена для создания и «обучения» настоящих, т.е. «негибридных», автоматических устройств. Например, понимание принципов обработки информации нейронной сетью мозга крысы может способствовать моделированию процессов мышления в компьютерах, а также решению некоторых задач, связанных с минимизацией числа элементов или энергопотребления в различных вычислительных системах. В далекой перспективе изучение

процессов выработки специфической функциональности отдельными клетками или органами, возможно, позволит ученым даже «выращивать» требуемые системы, если это окажется удобнее или выгоднее разрабатываемых сейчас методов генетической модификации.

Существует еще одно, «обратное» направление создания гибридных устройств, заключающееся в интеграции органов животных или насекомых в искусственные системы. Известно, например, что органы обоняния некоторых насекомых обладают поразительной чувствительностью и способны воспринимать совершенно ничтожные количества (буквально несколько молекул) феромонов, что наводит исследователей на мысль об использовании таких механизмов или их модификаций для регистрации веществ, представляющих военный или научный интерес. Естественно, что разработки такого типа связаны со сложными физико-химическими задачами обеспечения надежного и длительного функционирования воспринимающих датчиков, создания миниатюрных и надежных биоэлектронных устройств и т.п.

Тема данного раздела неизбежно подводит к одной из важнейших проблем нанотехнологий вообще, обусловленной тем, что (по мере появления и развития многих новых технологических идей и приемов) мы все чаще сталкиваемся с размыванием или даже исчезновением границ между «живым» и «искусственным». В качестве наглядного примера можно указать на создание различных контактных устройств или интерфейсов, позволяющих присоединять компьютеры к нейронам, генетическое программирование с приданием новых характеристик растениям и животным или возможное создание синтетических микроорганизмов и многие другие проекты, в которых биология, механика и электроника «сливаются» в единое целое.

Подвижные биотехнические гибриды, подобно описанным выше (см. раздел 4.1.16) мини- и микроботам, могут применяться для решения самых разнообразных военных задач: от разведывательных действий до атакующих. Конечно, конкретные типы используемых животных (птицы, рыбы и т.п.) должны подбираться в соответствии с оперативной обстановкой и окружающей средой. Кроме того, понятно, что органы некоторых используемых существ (конечности, клювы, когти и т.п.) должны быть дополнительно модифицированы и приспособлены для сочетания с требуемыми техническими элементами, в то время как некоторые биологические виды обладают практически готовым к применению «оружием» против других животных или человека. Прежде всего следует вспомнить о многих видах насекомых, чей жалящий аппарат можно «заправлять» требуемыми микробами и токсинами, после чего насекомое превращается фактически в готовое к использованию биологическое оружие, что легко подтверждается самыми простыми расчетами. Дело в том, что летальная доза наиболее сильных токсинов (в пересчете на 100 кг веса среднего человека) является очень незначительной, что и отмечено в известных справочниках [Timbrell, 1989: Ch.9; Klaassen et al., 1986: 12]. Во многих случаях смертельная доза составляет всего лишь ~ 50 мкг, а иногда даже меньше 1 мкг (это предельное значение относится к знаменитому яду кураре (d-Tubocurarine), которым южноамериканские индейцы смазывают наконечники своих стрел. Такие количества токсинов занимают объем всего порядка 0,05 и 0,001 мм^3 (что соответствует кубикам с длиной граней 370 и 100 мкм), и эти величины вполне соизмеримы с «грузоподъемностью» даже москитов, не говоря уже о более крупных насекомых типа ос и т.п. Кроме того, нанотехнологии в будущем позволят придавать вводимым биологическим, микробным или даже гибридным агентам способность к самовоспроизведению внутри зараженных организмов, что позволит значительно уменьшить вводимые дозы поражающих веществ и перейти к использованию самых крошечных насекомых (читатель может вспомнить о механизме передачи возбудителя малярии и многих других опаснейших инфекций).

Описываемые выше гибридные устройства (точнее, возможность их создания) еще раз демонстрируют, что развитие НТ размывает привычные границы между живыми организмами и искусственными структурами, что значительно осложняет любую попытку классификации нанообъектов вообще (а мини/микроботов, в частности), особенно при обсуждении превентивного ограничения новых видов вооружений. В соответствии с функциональным назначением такие гибридные биотехнические структуры следует классифицировать в качестве разновидностей мини/микроботов.

Первые образцы дистанционно управляемых животных будут «призваны на военную службу» примерно через 5–10 лет, а гибридные устройства с высокой степенью автономности появятся лишь через 10–20 лет.

4.1.18. Миниатюрные космические спутники и средства их запуска

Уже сейчас применение микросистемной техники позволяет создавать очень небольшие по размеру космические спутники (микроспутники) и соответствующие им системы запуска [Altmann, 2001: раздел

4.2.6]. Развитие нанотехнологии неизбежно должно привести к еще большей миниатюризации этих объектов хотя бы из-за существенного уменьшения веса и габаритов практически всех используемых в этих системах элементов (компьютеры, датчики, конструкционные материалы, топливо, источники питания и т.п.). Это уже давно учитывается разработчиками новейшей космической техники, которые изучают принципиальные возможности запуска примерно 10-граммовых спутников при помощи ракет весом менее 1 кг [NRC Committee, 2002: Ch.6]. Для снижения аэродинамического сопротивления (и, соответственно, энергозатрат на запуск) небольшие ракеты могут запускаться на большой высоте с самолетов-носителей, причем из экономических соображений можно запускать большое число спутников (в пересчете на 1 тонну полезной нагрузки) за один полет. Стоимость запуска может быть снижена и за счет того, что такие миниатюрные ракеты (или их первые ступени) могут разгоняться при помощи электромагнитных устройств (пусковые площадки которых можно дополнительно размещать в высокогорных областях). Кроме того, микроскопические объекты могут выводиться в космос просто в комбинации с обычными крупными спутниками при запуске крупногабаритной ракетой (число запускаемых при этом микроспутников, естественно, может быть очень большим).

В настоящее время экономическая целесообразность создания и эксплуатации малых и сверхмалых спутников представляется весьма неопределенной, однако уже ясно, что использование спутников размером 1–20 сантиметров позволяет значительно снизить расходы на запуск (в пересчете на вес полезной нагрузки). Изменение траектории таких аппаратов в космическом пространстве имеет специфику и может осуществляться, например, путем подрыва очень небольших зарядов, распределенных на поверхности такого спутника (напомню, что в космосе изменение орбиты производится только за счет реактивных двигателей, а не посредством аэродинамических рулей управления, как в атмосфере).

Сверхмалые спутники могут эксплуатироваться коллективно, в виде «роя» или «облака» с размерами от 10 м до 1 км, что и предлагается, например, в упоминавшемся выше проекте [NRC Committee, 2002: Ch.6]. Интересно и важно, что создаваемый при этом массив приемных и передающих микроустройств позволяет решать многие технические задачи, связанные с отслеживанием цели (радиолокация, пассивная радиометрия, обеспечение связи и т.д.), с гораздо большим разрешением, чем антенны на борту одного спутника обычных

размеров. С другой стороны, поскольку формируемая при этом составная антенна покрывает лишь очень небольшую часть виртуальной апертуры, мощность принимаемого сигнала при увеличении размеров «облака» возрастает лишь очень незначительно, а мощность передаваемого сигнала сильно ограничена малой общей площадью солнечных батарей, которые могут быть размещены на поверхности микроспутников. И наконец, следует учитывать и то, что полноценная замена крупногабаритного спутника на «рой» микроустройств (в виде облака) должна, безусловно, повысить надежность его работы и уменьшить вероятность его повреждения вражескими средствами космического поражения.

Еще одной областью применения микроспутников может стать исследование или проверка рабочего состояния крупных космических аппаратов с близкого расстояния. Эта проблема, конечно, потребует от конструкторов отработки методов сближения соответствующих объектов в космическом пространстве, а в дальнейшем – и организации ремонтных работ или текущего обслуживания разнообразного оборудования крупных спутников при помощи микроустройств. Естественно, что такие функции легко могут быть трансформированы для превращения «облака» микроустройств в реальное антиспутниковое оружие, так как микроспутники можно будет запрограммировать на сближение с космическими аппаратами противника и выведение их из строя самыми различными способами (микроустройства могут, например, выводить из строя датчики, покрывать поверхности солнечных батарей, деформировать антенны и т.д.).

Кроме этого, микроспутники могут уничтожать вражеские космические аппараты и за счет прямого столкновения с последними, так как при космических скоростях относительного движения (порядка нескольких километров в секунду) любое такое соударение может приводить к весьма серьезным последствиям. Конечно, управление движением микроспутника для организации такого столкновения является весьма сложной технической задачей, однако сама возможность таких боевых действий в космосе (даже без применения каких-либо новейших технологий) уже была практически проверена и доказана. Кроме того, «обстрел» вражеского спутника можно будет осуществлять очень большим числом микроспутников, значительно повышая вероятность поражения.

В настоящее время США осуществляют НИОКР в нескольких военных программах, непосредственно связанных с малыми спутниками [DoD, 2001: Ch.5; DARPA Budget, 2003: 146–150, 215–220]. В экс-

периментальной программе TechSat 21, осуществляемой Лабораторией военно-воздушных сил, предлагается использовать «кластеры» миниспутников, функционируюших в качестве единого объекта, эквивалентного крупному спутнику. DARPA реализует сейчас два больших, комплексных проекта, относящихся к малым спутникам: программу RASCAL (Responsive Access, Small Cargo, Affordable Launch) по быстрому запуску и использованию небольших спутников (весом до 50 кг) и программу SPAWN (Satellite Protection and Warning) по мониторингу и проверке состояния космических аппаратов и их окружения (в разделе 4.1.6 уже упоминалась разработка двигательной установки для запуска спутников весом около 200 грамм). В последней программе прямо указывается, что при создании миниатюрных и маневренных «инспекционных» микроспутников будут использоваться МСТ. Нанотехнологии пока упоминаются лишь в общей форме, однако они, безусловно, будут востребованы при реализации упомянутых программ или их развитии [см. также NRC Committee, 2002].

4.1.19. Ядерное оружие

4.1.19.1. Вспомогательные системы и средства

Ядерные виды оружия обычно представляют собой целые комплексы разнообразных средств, включающие сложные системы управления, хранения, обеспечения безопасности, приведения в боевую готовность и даже уничтожения при некоторых обстоятельствах. В Соединенных Штатах функционирование этих систем регулируется обширным комплексом правил, процедур и средств, обычно обозначаемых аббревиатурой PAL (Permissive Action Links) и включающих в себя множество датчиков, механических блокирующих устройств, электрических и электронных схем и т.п. Микросистемная техника позволяет существенно уменьшить размеры и вес многих входящих в PAL систем, не говоря уже о более простых устройствах контроля за безопасностью, хранением и приведением в боевую готовность различных типов обычных вооружений [Altmann, 2002: Section 4.2.4]. Развитие НТ должно привести к дальнейшей миниатюризации используемого в этих целях оборудования и повышению надежности системы в целом за счет развития новых типов датчиков и их интеграции с разнообразными механическими, оптическими и электронными блокирующими устройствами.

По-видимому, использование НТ не может привести лишь к сколь-нибудь заметным количественным изменениям в составе и конструкции химических взрывателей, используемых в ядерном оружии для быстрого сближения двух или нескольких порций делящегося вещества с образованием так называемой критической массы. Сближение обычно осуществляется имплозией (т.е. направленным внутрь взрывом, позволяющим быстро сформировать цельный шар из полых полусфер плутония) или в простейшем варианте мгновенным сближением двух субкритических масс при помощи химических подрывных зарядов привычного типа. Возможности НТ в этом направлении невелики и сводятся к тому, что новые технологии позволят создать новые типы взрывчатых веществ с более высокой плотностью энергии (см. раздел 4.1.8). В результате такой замены для исходного сжатия можно будет использовать меньшее количество так называемых химических детонаторов или (при том же весе химических зарядов) обеспечивать более сильное сжатие и, соответственно, уменьшать количество делящегося ядерного материала.

За несколько десятилетий развития ядерного оружия были выработаны очень строгие спецификации изготовления и механической обработки плутониевых элементов заряда и деталей самих бомб. Нанотехнологии, возможно, позволят обеспечить еще большую точность их изготовления, хотя пока остается неясным, приведет ли дальнейшее повышение точности к увеличению эффекта имплозии (т.е. в конечном счете к уменьшению критической массы), поскольку пределы сжатия вещества, скорее всего, определяются несферичностью фронта детонации, обеспечиваемого так называемыми детонационными линзами из обычной взрывчатки. В этом случае перед исследователями встает проблема структурирования взрывчатых веществ на микро- и наноуровне (например, за счет пространственного варьирования состава заряда), позволяющего обеспечить сферичность фронта детонации. Именно такая задача и решалась в рамках американской программы Stockpile Stewardship [Parker, 2000a; CMS, 2002: 41; см. также раздел 3.1.4], осуществляемой известной Ливерморской лабораторией, хотя представляется маловероятным, что таким методом удастся уменьшить критическую массу хотя бы в два раза.

Упомянутые выше усовершенствования в конструкции ядерного оружия относятся к побочным, так как сама возможность ядерного взрыва связана прежде всего с наличием в бомбе нескольких килограмм делящегося (активного) вещества. Общий вес конструкции (включая химическую взрывчатку, начинку, корпус и вспомогательные материалы) составляет несколько десятков килограмм. Водородная бомба (конструкция которой содержит в себе атомную в качестве

составной части для инициирования реакции синтеза водорода) является значительно более тяжелой, и поэтому в целом не следует ожидать, что применение НТ приведет к сколь-нибудь заметному уменьшению веса существующих образцов ядерного оружия. Для справки, можно привести некоторые характерные значения веса разных типов ядерных зарядов, принятых на вооружение Армией США. В настоящее время наиболее легкой в классе бомб является атомная фугасная бомба с тротиловым эквивалентом менее 1 кт (= $4{,}2 \times 10^{12}$ Дж), вес которой составляет около 70 кг (вес собственно боевой части ~ 27 кг). Еще меньше (54 кг) весят ядерные артиллерийские снаряды с тротиловым эквивалентом около 0,1 кт. Для сравнения укажем, что ракетная боеголовка с водородной бомбой обычного (двухстадийного) типа весит 363 кг и имеет тротиловый эквивалент 335 кт [Cochran et al., 1984: 311, 54, 75].

В течение ближайших пяти лет можно ожидать первых применений НТ для модификации разных типов существующего ядерного оружия, а в следующие пять эти применения станут разнообразнее и масштабнее.

4.1.19.2. Компьютерное моделирование ядерного оружия

При взрыве атомного устройства в его веществе начинают стремительно развиваться многочисленные и разнообразные физические процессы разной природы, в которых участвуют и взаимодействуют механические, ядерные, термодинамические, плазменные, радиационные и другие эффекты. Системы уравнений, описывающих поведение взрывающегося ядерного вещества, слишком сложны для аналитического решения, поэтому обычно их решают на ЭВМ численными методами. Сложность уравнений значительно возрастает при моделировании многомерных процессов, вследствие чего для расчетов уже давно приходится применять самые мощные и быстродействующие компьютеры. Более того, используемые для этих целей модели и вычислительные программы представляют настолько большую важность, что в течение десятилетий многие испытания реальных образцов ядерного оружия даже осуществлялись специально для проверки правильности и точности компьютерных расчетов, а также боеспособности создаваемых на их основе бомб и зарядов. После заключения в 1996 году Договора о запрещении ядерных испытаний такие проверочные испытания стали невозможны, вследствие чего ядерные державы сосредоточили свои усилия на создании сверхмощных компьютеров, специализированных для расчета ядерных взрывов, и

около десяти лет назад стало возможным даже полноценное трехмерное моделирование процессов ядерного взрыва. Кроме этого, компьютеры широко используются для изучения практически очень важных процессов коррозии и естественного старения ядерного оружия при его длительном хранении. В США такие исследования ведутся на основе тщательно собранных данных, полученных ранее при проведении более 1000 реальных образцов различных ядерных устройств, что позволяет в дальнейшем модернизировать уже существующие ядерные заряды. Собранные данные и компьютерные расчеты дают возможность, например, повышать проникающую способность бомб при поражении целей, расположенных глубоко под землей. Обзор состояния исследований в этой области читатель может найти в работе [Zimmerman and Dorn, 2002].

Ценность НТ для исследований в этой области представляется очевидной, поскольку они обещают повысить вычислительную мощность ЭВМ на порядки, что, в свою очередь, позволит моделировать значительно более сложные взрывные процессы и основанные на них образцы нового оружия. Можно предположить, что в будущем на основе компьютерных расчетов можно будет создавать и совершенно новые типы ядерного оружия (при этом наверняка будет очень сложно убедить руководящие военные круги в надежности боевых зарядов, созданных на основе «чистой математики»!). Возможно даже, что из-за этого у военных возникнет мощный стимул возобновить реальные ядерные испытания и выйти из Договора об их запрещении.

Очень трудно оценить временные рамки возможного воздействия НТ на развитие исследований в области моделирования ядерных взрывов или условий хранения атомных зарядов, так как для этого необходимо обладать засекреченной информацией относительно конструктивных особенностей зарядов и условий их хранения. С другой стороны, вполне возможно, что достаточно разумные оценки можно получить даже без доступа к закрытым источникам.

4.1.19.3. Сверхмалые ядерные заряды

Выделяюшаяся при ядерных взрывах энергия (в пересчете на массу) примерно в 10^7 раз превышает энерговыделение любой химической реакции. При полном расщеплении ядер 1 килограмма U-235 высвобождается энергия, эквивалентная взрыву 20 килотонн (20 миллионов килограмм) тринитротолуола, а полная энергия реакции синтеза 1 килограмма дейтерида лития соответствует взрыву ~ 65 килотонн ТНТ.

Однако следует учитывать, что в реальных ядерных взрывах успевает прореагировать лишь небольшая часть ядер, так что высвобождаемая энергия всегда оказывается ниже теоретического предела. Для повышения коэффициента полезного действия бомбы (если, конечно, использование такого термина представляется уместным относительно оружия массового поражения!), т.е. выделения большей энергии атомного заряда, конструкторы ядерного оружия уже десятки лет создают и испытывают все более изощренные устройства. Основная идея сводится к тому, чтобы исходным взрывом химических детонаторов осуществить максимальное сближение делящихся материалов или каким-то другим сложным образом скомбинировать процессы ядерного деления и синтеза для осуществления этой же цели.

Для инициирования реакции термоядерного синтеза обычно применяются атомные бомбы на основе урана или плутония, мощность которых не может быть ниже 1 килотонны. Очевидно, что для многих практических целей такие сверхмощные бомбы не нужны, что и привело разработчиков к идее о ядерных устройствах, работающих не по взрывному принципу. Такие устройства, позволяющие варьировать выделяющуюся энергию, уже получили название ядерного оружия четвертого поколения [Gsponer and Hurni, 2000: Ch.4; Gsponer, 2002][15], хотя стоит отметить, что и в них энергия взрыва по-прежнему существенно превышает значения, достигаемые при использовании обычных взрывчатых веществ. Вес боезапаса современных систем обычного оружия (вещества типа тротила) составляет от 20 кг в артиллерийских снарядах до 500 кг в ракетных боеголовках или даже 1 тонны в крупных авиабомбах (собственно говоря, верхний предел веса боезаряда определяется просто техническими характеристиками самолета-носителя и т.п.). Мощность ядерного оружия 4-го поколения, в которых процессы ядерного слияния осуществляются на микроскопическом уровне (micro-fusion), в тротиловом эквиваленте варьируется от 1 тонны до 1 килотонны. При этом масса самого заряда составляет несколько килограмм, а в принципе может быть снижена до 1 килограммма или даже меньших значений. Такие снаряды, с одной стороны, являются чрезвычайно удобными для бомбардировки некоторых специфических целей (например, распределенных или, наоборот, точечных и сильно укрепленных), но проблема состоит в том, что их появление приведет к существенному размыванию границы между обычными (конвенциональными) и ядерными вооружениями.

Прямое инициирование реакций ядерного синтеза может осуществляться несколькими разными способами, например с использованием так называемого инерциального удержания, при котором излучение от большого числа высокоэнергетических лазеров концентрируется на очень маленькой (с диаметром менее 1 мм) таблетке ядерного материала с особой структурой и составом. Стоит отметить, что используемые в подобных экспериментах лазеры в настоящее время имеют гигантские размеры (например, лазерная установка NIF США занимает площадь 200 м × 85 м)[16].

Микросистемная техника и нанотехнология могут сыграть существенную роль в создании ядерного оружия на основе реакций микросинтеза, что обсуждается в работе [Gsponer and Hurni, 2000: Ch.4]. Вообще говоря, для зажигания реакции термоядерного синтеза образец должен быть очень сильно сжат, а затем и подвергнут дополнительному нагреву (хотя бы в одной точке), что и должно привести к выделению нейтронов, инициирующих реакции слияния ядер. Указанной цели можно добиться, воздействуя на образец мощным лазерным излучением или пучками тяжелых ионов, возможно при одновременном облучении образца нейтронами, образующимися, например, в результате реакции деления ядер в субкритическом режиме. Конечно, миниатюризация мощных лазеров и ионных ускорителей пока представляется технически совершенно невозможной, однако микросистемные и нанотехнологические методы могут оказаться весьма ценными на следующем этапе развития ядерного оружия, если исследователи действительно научатся использовать для сжатия и поджигания реакций антиматерию (эта идея уже не кажется фантастической, с учетом последних достижений ядерной физики). Известно, что любой контакт антивещества с обычным веществом приводит к аннигиляции, сопровождаемой (в соответствии со знаменитой формулой $E = mc^2$, где m – масса, а c – скорость света, равная 3×10^8 м/сек) выделением чудовищного количества энергии. Легко подсчитать, что реакция одного килограмма смеси (протоны/антипротоны) эквивалентна взрыву 22 мегатонн (220 000 килотонн!) тротила. В настоящее время нельзя даже думать о создании реальной бомбы из антиматерии, поскольку ее удается получать только на мощнейших ускорителях элементарных частиц, причем в совершенно микроскопических количествах. С другой стороны, нельзя забывать, что для инициирования процессов в описываемых выше устройствах, основанных на реакциях микросинтеза, также необходимы лишь ничтожные порции антивещества. К настоящему времени уже не только экспериментально доказана принципиальная возможность получения антипротонов (и даже атомов антиводорода), но и разработана мето-

дика их длительного сохранения (в течение нескольких часов) в специально сконструированных электромагнитных ловушках. Поэтому вполне представимо, что в будущем (пользуясь микросистемными и нанотехнологическими методами) исследователям удастся сконструировать реальные микроустройства, позволяющие длительное время изолировать антипротоны или антиатомы от возможного и губительного взаимодействия со стенками из обычного вещества, а затем и использовать антивещество для инициирования требуемых реакций. В принципе, существуют и альтернативные методы аккумулирования и хранения античастиц, основанные, например, на использовании различных метастабильных состояний, куперовских пар или пространственно распределенных блоховских состояний в конденсированном состоянии. Если какой-нибудь из этих методов окажется практически перспективным, то применение микросистем и нанотехнологий будет способствовать организации быстрого и достаточно дешевого метода производства устройств такого типа.

Опасность создания ядерного оружия нового поколения с использованием МСТ и НТ не является пока непосредственной и угрожающей, но теоретически не стоит пренебрегать и такой возможностью развития событий, тем более что это может серьезнейшим образом нарушить все системы международной стабильности и безопасности. Необходимо в возможно короткие сроки разработать программу системного мониторинга любых исследований в области создания, хранения и использования антивещества для инициирования реакций термоядерного синтеза (а также других направлений исследований в этой области).

4.1.20. Химическое оружие

В этом разделе термин «химическое оружие» используется в самом общем смысле, поскольку НТ могут относиться как к непосредственному получению или модификации веществ химического поражающего действия, так и к методам и устройствам применения, изготовления и использования конкретных видов оружия (включая хранение, средства доставки и применения, способы поражающего воздействия и т.п.). Химическое оружие принято классифицировать в соответствии с объектами поражения, вследствие чего, например, гербициды (воздействующие только на растения) не подпадают под действие известной Конвенции о запрещении химического оружия CWC (Chemical Weapon Convention) [CWC, 1993][17]. Воздействующие на людей и животных вещества подразделяют обычно на нелетальные и летальные, причем последние, в свою очередь, принято классифицировать по поражаемым органам (легкие, кровь, кожа и нервная система). Нелетальное химическое оружие включает в себя множество веществ и средств воздействия, в том числе так называемые раздражители, галлюциногены, наркотики, спазмолитики, альгогены (вещества, вызывающие болевые ощущения) и т.п. Более подробную информацию можно найти в работе [CWCB, 2003], а общие сведения о химическом оружии изложены в [Evison et al., 2002] и на сайте http://www.opcw.org.

Развитие нанотехнологий, несомненно, приведет к открытию и созданию новых средств поражения во всех перечисленных выше классах соединений. Парадоксальным доказательством этого факта могут служить уже достигнутые успехи НТ в гражданской медицине и фармацевтике, так как сейчас именно в этих областях успехи НТ позволяют надеяться на решение важнейших проблем лечения многих болезней, токсикологии, создания новейших лекарств, воздействия на конкретные центры или участки отдельных органов и т.п. Наночастицы все чаще упоминаются в медицинских статьях, относящихся к инкапсуляции и целевой доставке лекарственных препаратов в организме, а также даже в качестве носителей, позволяющих преодолевать иммунный барьер коры головного мозга. Естественно, что результаты успешных исследований перечисленных механизмов и процессов могут быть с таким же успехом использованы и для разработки более сильных токсических препаратов и других разновидностей химического оружия. Наиболее перспективными направлениями развития НТ в этой области представляются следующие:

- разработка капсул для безопасного введения веществ в организм и их постепенного выделения по заданной программе;
- введение активных групп, позволяющих осуществлять специфические реакции с заданными участками органов или клеток организма;
- создание так называемых векторов (переносчиков, по терминологии специалистов в области генной инженерии), позволяющих легко вводить в организм требуемые вещества в клетки, органы и даже в мозг;
- исследование избирательности механизмов реакций со специфическими наборами генов (генотипами) или белками;
- исследование возможностей снижения риска для применяющей химическое или биологическое оружие стороны, например за счет ограничения персистенции (сохранения вируса в организме) или бинарности принципов действия.

Кроме этого, к химическому оружию следует отнести и возможность того, что сочетание биотехнологий и НТ позволяет не только вводить в организм новые агенты, но и вызывать в нем весьма сложные взаимодействия (например, за счет использования некоторых участков ДНК и т.п.). Такое воздействие может приводить к временной потере человеком контроля над собственным поведением и психическим состоянием.

Соединенные Штаты подписали Конвенцию CWC, и, возможно, именно поэтому в американской прессе и открытой научной печати практически нельзя обнаружить упоминания о нанотехнологических НИОКР в области химического оружия[18]. Иногда упоминания о работах в этом направлении можно обнаружить в публикациях неправительственных пацифистских организаций (американцы называют их «сторожевыми псами» общественности), в качестве типичного примера чего можно привести сообщение о разработках микрокапсулирования нелетальных химических агентов (типа бинарных веществ, создающих зловонные запахи и т.п.) или даже бактерий [Sunshine, 2002].

По-видимому, первые простые применения НТ в области создания химического оружия проявятся примерно через 5–10 лет, а разработка более сложных веществ, систем или устройств может продлиться на 10–20 лет или даже дольше.

4.1.21. Биологическое оружие

Говоря о приложениях нанотехнологии в области биологического оружия, мы будем учитывать все разнообразие средств и методов этого специфического вида вооружений: от создания новых биологических препаратов боевого воздействия до развития методов хранения и использования таких средств. В узком смысле термин «биологическое оружие» подразумевает использование для боевых действий разнообразных живых объектов, в первую очередь микроорганизмов (вирусы, бактерии, риккетсии и т.п.), грибков и простейших (протозоа), а также более развитых организмов, типа насекомых. Впрочем, иногда в понятие биологического оружия включают дополнительно и некоторые виды токсинов (т.е. веществ, выделяемых мелкими и крупными организмами), однако Конвенция по запрещению биологического и токсического оружия (Biological and Toxin Weapons Convention, BTWC) относит токсины к особой группе (см. раздел 6.4.7), независимо от методов их получения [BTWC, 1972]. Характерной особенностью микроорганизмов, по принятой системе классификации и терминологии, считается их способность размножаться (самовоспроизводиться) внутри пораженного организма-хозяина.

Сочетание НТ с биотехнологиями может способствовать созданию новых микроорганизмов, пригодных для использования в качестве биологического оружия. Уже сейчас изучение молекулярных основ патогенности и возможной генетической манипуляции подводят исследователей к решению задач, которые явно относятся к разработкам биологического оружия. К таким «обратным» задачам можно отнести исследования по сопротивляемости микроорганизмов к действию антибиотиков, передаче вирулентных генов, подавлению иммунной системы человека, не говоря уже о возможности создания новых вирусов (например, пока очень простых вирусов так называемого мокрого лишая). Слабым утешением может служить лишь то, что большая часть таких разработок пока не имеет отношения к военным исследованиям и не связана непосредственно с развитием НТ [Nixdorff et al., 2003: Section 11.3; относительно синтеза генома бактериофага см. H.O. Smith et al., 2003].

Однако НТ в ближайшем будущем, несомненно, придадут биотехнологическим методикам новые потенциальные возможности и позволят перейти к проектированию или созданию микроорганизмов с заранее заданными свойствами, что представляет огромный интерес практически для всех представлений и понятий классической эпидемиологии (инкубационный период, способность вызывать эпидемию, ретроактивность и т.д.), определения которых читатель может найти в медицинской литературе [Nixdorff et al., 2003: Chs 2, 3]. Варианты использования НТ в этой области во многом похожи на описанные выше (раздел 4.1.20) методики усовершенствования химического оружия и включают в себя следующие основные направления:

- разработка капсул для безопасного введения веществ в организм и их постепенного выделения по заданной программе;
- введение активных групп, позволяющих осуществлять специфические реакции с заданными участками органов или клеток организма;
- изучение механизмов, позволяющих легко вводить требуемые вещества в организмы, в клетки, органы и даже в мозг;
- исследование избирательности механизмов реакций со специфическими наборами генов (генотипами) или белками;
- изучение механизмов подавления иммунных реакций организма;

- исследование возможностей снижения риска для применяющей биологическое оружие стороны, например, за счет ограничения персистенции (сохранения вируса в организме) или создания механизмов запрограммированного самоуничтожения агентов, например, за счет активации/дезактивации побочных агентов или просто при помощи заранее разработанной надежной прививки от данного поражающего агента.

Некоторые из этих задач могут быть решены уже сейчас существующими методами генной инженерии и молекулярной биологии, однако представляется очевидным, что использование НТ откроет перед разработчиками множество неожиданных перспектив, особенно в области анализа и синтеза новых агентов. Сочетание методов НТ и биотехнологии позволяет надеяться на решение новых и очень сложных медицинских задач, связанных не только с воздействием на иммунную систему и организм конкретного человека, но даже и со специфическим воздействием на конкретно заданные управляющие центры в головном мозгу [см. также Petro et al., 2003]. В настоящее время ученые весьма скептически относятся к так называемому этническому оружию (т.е. действующему избирательно по отношению к различным этническим группам населения), поскольку генетические различия в пределах различных наций обычно проявляются шире, чем между самими нациями или этническим группами, хотя возможность его создания нельзя исключить полностью. Отдельно следует рассматривать и вполне реальную возможность искусственного придания (при помощи генетических маркеров) потенциальной уязвимости намеченным или специально выделенным популяциям и группам населения [Nixdorff et al., 2003: Section 11.3.1].

Развитие новых видов биологического оружия может начаться с модификации уже существующих микроорганизмов при одновременной разработке полностью искусственных систем и устройств[19]. В отличие от химических веществ, биологические агенты обладают способностью к самовоспроизведению, что делает их особо опасным и эффективным средством массового поражения. Инфекции и эпидемии могут начинаться с намеренного, ненамеренного или даже незаконного использования одного-единственного микроба. Дополнительные и непредсказуемые последствия могут возникнуть как из-за незапланированной эволюции микроорганизмов (с образованием совершенно новых форм и штаммов), так и из-за так называемой иммунной интерференции с клетками организмов-хозяев (включая перенос генов).

Поскольку США признают Конвенцию BTWC, любые НИОКР в области биологического оружия (независимо от их связи с НТ) могут осуществляться только в целях обороны и защиты населения (см. раздел 4.1.22)[20].

Новые виды биотехнологического оружия должны появиться в течение будущих 5 лет, а серьезное использование методов НТ (особенно сложных и комплексных) может затянуться на десятилетия.

4.1.22. Защита от химического и биологического оружия

Нанотехнологии найдут самое широкое применение при разработке методов решения обратной задачи, т.е. защиты гражданских и военных объектов, а также населения и военного персонала от химического и биологического оружия. Прежде всего на основе новых технологий можно будет создать гораздо более чувствительные датчики опасных веществ, что позволит значительно быстрее и эффективнее регистрировать наличие опасных агентов и приступать к соответствующим защитным действиям. Далее, применение НТ должно привести к производству новых защитных материалов, способных как блокировать поражающие вещества (например, молекулы химических агентов могут задерживаться в порах защитного покрытия), так и непосредственно повреждать или разрушать такие вещества (например, воздействуя на них каталитически активной развитой поверхностью какого-либо наноматериала). В зависимости от конкретной обстановки, для нейтрализации и обеззараживания поражающих средств могут использоваться самые различные комбинации описанных выше защитных наноматериалов. Они могут применяться в фильтрах, противогазах, воздухозаборниках и т.п., а также просто для изготовления защитных костюмов и покрытий.

Некоторые достижения НТ уже могут быть использованы для создания новых типов датчиков химического и биологического оружия. Например, наличие биологических агентов может регистрироваться специфическим связыванием последних с флюоресцирующими и магнитными частицами или смещением резонансной частоты колебаний кантилевера в атомно-силовых устройствах.

Некоторые нанотехнологии уже упоминаются в биологических программах DARPA, относящихся прежде всего к методам защиты от биологического оружия, а также к планам создания или совершенствования разнообразных анализирующих устройств [DARPA Activities, 2003;

DARPA Diagnostics, 2003; DARPA Biosensors, 2003; DARPA Genomics, 2003; DARPA Countermeasures, 2003; General: DARPA BIOS, 2003]. Исследования ведутся в следующих основных направлениях:

- изучение реакций живых клеток на чипах;
- разработка методов обнаружения инфицирующих агентов в клинических пробах и живых организмах;
- создание более совершенных биодатчиков, например на основе так называемых усиливающих или замещенных антител;
- геномное секвенирование патогенных микроорганизмов;
- разработка принципиально новых методов защиты, основанных, например, на устройствах для переноса защитных веществ внутри организма или использования биологической модуляции иммунной системы организма;
- применение в качестве своеобразных «стражей» организмов или растений (возможно, с генетически модифицированной ДНК), способных избирательно реагировать с заданными веществами, создавая легко регистрируемые внешние эффекты (например, изменение окраски пораженных органов и т.п.).

В некоторых случаях наличие определенных химических агентов или взрывчатых веществ приводит к изменению электронных свойств проводящих полимеров [относительно активности ISN см. Mullins, 2002]. Нанотехнологии могут применяться при создании пористых материалов для мембран, способных захватывать и удерживать любые, даже самые малые молекулы, причем каталитическое воздействие абсорбирующих наноструктур может одновременно способствовать разрушению различных химических и биологических агентов, что уже стало предметом исследований [Klabunde, 2000].

В разработке ISN предлагается защищать поверхность сплошным слоем активных бактерицидных молекул, наночастиц (покрытых дендримерной пленкой из сополимера, разлагающего требуемые химические соединения) и генетически модифицированных бактериофагов (вирусов). Такие покрытия могут одновременно играть роль датчиков и защитных средств [Mullins, 2002].

В настоящее время в США и других странах значительно увеличены расходы на разработки, связанные с обеспечением безопасности населения, вследствие чего уже в ближайшие годы можно ожидать практического применения новых типов разнообразных датчиков и защитных устройств, создаваемых на базе НТ. В дальнейшем должны быть разработаны и более сложные, комбинированные системы для

детектирования и нейтрализации наиболее опасных химических и биологических веществ.

4.2. Краткий обзор описанных военных приложений нанотехнологии

В некоторых областях военной деятельности техники (взрывчатые вещества, бронетехника, бронебойные снаряды, ядерное оружие) применение НТ обещает пока лишь незначительное улучшение характеристик уже существующих видов оружия, однако в ряде направлений можно ожидать быстрых и даже революционных преобразований. В некоторых случаях такие преобразования могут стать следствием существенного улучшения технических параметров уже используемых устройств и веществ (электроника, конструкционные материалы, а также, возможно, программное обеспечение), а в других – с возникновением качественно новых возможностей. В этом случае речь идет прежде всего о развитии личного вооружения и амуниции солдата, повышении биологических характеристик организма, создании разнообразных автоматических систем, биотехнических гибридов, микроспутников, новых типов химического и биологического оружия и многого другого.

Конечно, не следует быть слишком большим оптимистом и ожидать, что окупятся все расходы на НИОКР различных программ (даже при самом успешном завершении исследований), поскольку внедрение новых видов оружия (как и товаров) зависит от множества факторов, включая эффективность применения, стоимость производства и т.п. Например, многие из обсуждавшихся выше микросистем, кажущихся столь перспективными, могут оказаться весьма малоэффективными на практике, из-за малой подвижности, сложностей с обеспечением питания и других проблем. Аналогично совершенствование и усиление возможностей организма военнослужащих может натолкнуться на весьма сложные проблемы, связанные с их психическим и физическим состоянием в будущем. Точно так же вполне вероятно, что (несмотря на оптимизм и интереснейшие достижения исследователей) прогресс в области создания искусственного интеллекта и автономных систем будет по-прежнему очень медленным.

Наибольшего успеха военных приложений НТ следует ожидать в тех областях и направлениях, которые уже достаточно эффективно усвоены гражданским сектором экономики. НИОКР в реальной экономике обычно диктуются интересами потребителей и спросом. При этом

интерес к новым товарам обычно способствует развитию массового производства, что позволяет позднее лучше оценить достоинства и недостатки новых изделий, провести их разработки для конкретных военных целей и найти наиболее эффективные приложения. Исходя из таких общеэкономических соображений, можно легко предсказать относительно быстрое и широкое использование НТ для военных приложений в области компьютерной техники, аккумулирования и преобразования энергии, медицины, а также, возможно, так называемых микророботов (типа уже выпускаемых детских игрушек).

Наноисследования в сугубо военных целях осложняются высоким экономическим риском, поскольку создаваемые при этом материалы и изделия часто не имеют никакой ценности для гражданского сектора. Лишь в редких случаях (например, при разработках упомянутых выше мини/микророботов) можно надеяться, что военные исследования смогут занять достойное место на рынке и хотя бы частично окупить расходы на НИОКР.

Перечисленные выше потенциальные возможности военных приложений НТ объединены и кратко охарактеризованы в табл. 4.1, где также указаны предполагаемые сроки внедрения. Для простоты и наглядности эти сроки разбиты на пять основных категорий: A – 0–5 лет; B – 5–10 лет; C – 10–20 лет; D – более 20 лет и, наконец, двойным вопросительным знаком «??» отмечены разработки и проекты, сроки реализации или внедрения которых пока совершенно неясны. Конечно, читателю следует помнить, что любые прогнозы развития (а особенно прогнозы, относящиеся к срокам внедрения) всегда являются крайне приблизительными и неточными.

4.3. Потенциальные военные приложения молекулярных нанотехнологий

Особого обсуждения требуют проблемы возможной реализации (и соответствующих сроков) так называемых молекулярных НТ, о которых уже упоминалось в разделе 2.2. Проблемы оценки связаны с тем, что даже основные концепции их развития и создания пока остаются неясными или спорными. Сторонники молекулярных НТ обычно ссылаются на то, что уровень познания во многих областях науки на наших глазах стремительно выходит на некоторые рубежи применимости всех известных нам законов природы, вследствие чего происходит какой-то, пока неопределенный и неясный процесс взаимного «ускорения» исследований в различных областях науки и тех-

Таблица 4.1. Потенциальные военные приложения нанотехнологий (список начинается с «видовых» (т.е. наиболее очевидных и характерных приложений). Прогнозируемые сроки реализации обозначаются буквами A (сроки внедрения – ближайшие 5 лет), B (5–10 лет), C (10–20 лет), D (более 20 лет), U (unclear, неопределенно) и значком «??» (прогноз совершенно неясен). Возможный эффект применения нанотехнологий в указанных областях оценивается в крайней колонке справа по трехбалльной системе (+ умеренное повышение характеристик, ++ значительное повышение характеристик и эффективности, +++ принципиальное повышение характеристик и эффективности)

Область приложения	Сроки реализации	Конкретные приложения, особенности использования, цели	Эффект
Электроника, фотоника, магнетики	A..B..C	Микроэлектроника, фотоника, магнетики; запоминающие устройства с большим объемом памяти; быстродействие; низкое энергопотребление; спиновая и квантовая электроника; легкие, небольшие и гибкие дисплеи и т.п.	+++
Компьютеры, системы связи	A..B..C..D	Миниатюрные датчики и актюаторы (приводы), вмонтированные в элементы оборудования; легко перестраиваемые сети связи; крупномасштабное планирование; новые типы систем принятия решений и управления; квантовые компьютеры и т.п.	+++
Программное обеспечение/ искусственный интеллект	A..B..C..D..??	Создание искусственных систем, способных к общению на естественных языках (и переводу с этих языков) и обладающих примерно «человеческим» уровнем восприятия, мышления и обучения: придание компьютерам способности принимать самостоятельные решения на разных уровнях	++(+?)
Материаловедение	B..C..	Синтез композитов с наполнителями из наночастиц и углеродных нанотрубок; аморфные сплавы; самовоспроизводящиеся структуры и материалы; разнообразные функциональные, активные и «умные» материалы	+++
Источники и аккумуляторы энергии	A..B..C	Топливные элементы; солнечные батареи; аккумуляторы водорода; разнообразные новые типы генераторов	++

Таблица 4.1. *Продолжение*

Область приложения	Сроки реализации	Конкретные приложения, особенности использования, цели	Эффект
Двигательные установки	B..C	Усовершенствование существующих двигателей; создание новых, более компактных двигателей и моторов; создание двигательных установок, имитирующих биологические системы; совершенствование ракетных двигателей	++
Транспортные средства	B..C	Более легкие, мощные и высокоскоростные транспортные средства; электрические двигательные установки	++
Топлива и взрывчатые вещества	A..B	Получение более однородных смесей горючего и окислителя; регулирование энерговыделения за счет структуры горючих и взрывчатых веществ	+
Камуфляж	B	Способность быстро изменять цвет и узор (в соответствии с окружением)	++
Распределенные датчики			
Общего типа	A	Датчики, вводимые в детали оборудования; детекторы с длительным сроком эксплуатации	++
Датчики боевого назначения	B	Создание системы датчиков субмиллиметрового размера (распределенных в больших количествах на обширных территориях), объединенных лазерной связью или «самонастраивающейся» системой радиосвязи	++
Датчики для систем контроля и проверки	A	Датчики размером - 1 см; использование нанотехнологий для обеспечения избирательности и точности	++
Броня/ бронезащита			
Тяжелого типа	B	Аморфные металлы (сплавы); новые типы покрытий и активной бронезащиты	+
Легкого типа	B	Прочные и легкие нановолокнистые материалы, поглощающие или отражающие электромагнитное излучение	++

Таблица 4.1. *Продолжение*

Область приложения	Сроки реализации	Конкретные приложения, особенности использования, цели	Эффект
Конвенционное оружие			
Оружие из неметаллических материалов	B	Нановолокнистые материалы для изготовления элементов стрелкового оружия (стволов, затворов и т.п.)	++
Системы наведения малых снарядов	B	Широкое применение инерционных систем наведения (включая даже малокалиберные снаряды) на основе MST	++
Бронебойные снаряды	A..B	Аморфные металлы (сплавы); заряды заданной формы с распределенными наночастицами и т.д	+
Микроракеты	B	Зенитные управляемые ракеты (размером < 1 мм); микроракеты (длиной - несколько миллиметров) для поражения живой силы противника	++
Личное снаряжение	B..C	Наружные устройства (датчики контроля состояния организма, актюаторы для введения в организм требуемых препаратов, система терморегулирования; экзоскелет и «армирующие» элементы)	++(+?)
Имплантируемые системы/усиление возможностей организма	B..C..U	Модификация биохимических процессов; направленное воздействие на клеточные процессы; имплантация устройств, контролирующих состояние организма и вводящих необходимые препараты; имплантация устройств, обеспечивающих связь мозга с нервной и мышечной системой; повышение силы мыш, прочности костей и т.д.	++(+?)
Автоматы	B..C	Мобильные автономные системы (вооруженные/невооруженные), способные передвигаться во всех средах (включая космос); новые типы двигательных устройств	++(+?)
Мини/ микроботы	B..C	Мобильные автономные микросистемы (вооруженные/невооруженные), способные передвигаться во всех средах; микроботы специального назначения (для хирургических операций внутри организма)	++(+?)

Таблица 4.1. *Окончание*

Область приложения	Сроки реализации	Конкретные приложения, особенности использования, цели	Эффект
Биотехнические гибриды	B..C	Введение в организм небольших животных (крысы, птицы, рыбы) или насекомых датчиков и коммуникационно-контрольных систем связи для использования в целях разведки, организации микровзрывов, переноса химических и биологических агентов и т.п.	++(+?)
Микроспутники и средства их запуска	B..C	Создание и запуск «роев» управляемых микроспутников для ремонта и обслуживания более крупных спутников или борьбы со спутниками противника (за счет блокирования функций или прямого столкновения)	++(+?)
Ядерное оружие			
Вспомогательные средства	A..B	Обеспечение безопасности, обслуживания, ликвидации	+
Компьютерное моделирование взрывов	U	Проектирование и создание ядерных боеголовок без проведения реальных испытаний	+
Ядерные микробомбы	??	Исследование гипотетической возможности создания бомбы на основе синтеза (без использования реакций деления), например, при использовании антиматерии и т.п.	?
Химическое оружие	B..C..D	Новые соединения и средства ввода в организм; преодоление так называемого гематоэнцефалитического барьера; повышение избирательности, регулирование устойчивости и воздействия	++(+?)
Биологическое оружие	B..C..D	Новые виды биологического оружия и новые средства их ввода в организм (включая клетки и мозг); повышение избирательности; преодоление иммунной реакции организма; регулирование активности	++(+?)
Средства защиты от химического и биологического оружия	A..B	Датчики, мембраны, средства абсорбции и нейтрализации	++

ники (универсальные молекулярные ассемблеры или сборщики, нанороботы, создание искусственного интеллекта и т.д.), которые на первый взгляд кажутся совершенно не связаннными друг с другом. Разумеется, при обсуждении военных приложений молекулярных НТ предполагается, что предлагаемые концепции являются разумными и могут быть хотя бы в принципе как-то реализованы. Поэтому рассмотрение данного вопроса неизбежно принимает слишком общий, спекулятивный и отрывочный характер, хотя стоит помнить, что молекулярные НТ и связанные с этой теорией потенциальные проблемы являются действительно очень серьезными и мы почти неизбежно столкнемся с ними в будущем (хотя, возможно и скорее всего, эти проблемы будут возникать по отдельности и в разное время). Многие из обсуждаемых выше вопросов в общей форме рассматривались еще в известной работе Габрада [Gubrud, 1997], упоминавшейся ранее.

В соответствии с общей концепцией молекулярных НТ предполагается, что в будущем будут созданы нанороботы (способные действовать поодиночке или «стаями») и универсальные молекулярные ассемблеры, способные самовоспроизводиться, а также создавать любые требуемые изделия из доступных им материальных ресурсов. Одновременно с этим будут созданы и устройства искусственного интеллекта (уровень развития которых, возможно, будет превосходить человеческий), которые очень быстро научатся осуществлять практически любые технологические задачи (включая научно-исследовательские, конструкторские, испытательные и внедренческие). Такие устройства смогут не только полностью «понять» или расшифровать процессы, происходящие в клетках и живых организмах, но и даже научатся управлять ими в требуемых целях. Быстрое развитие таких научно-технических методов может привести к появлению (возможно, в этом контексте следует говорить о проявлении) совершенно неожиданных форм «слияния» сознания человека с автоматическими и вычислительными системами (human-artificial merging), что, возможно, позволит в будущем начать исследование космоса и его ресурсов в новых, пока даже не поддающихся описанию масштабах и формах.

4.3.1. *Возможности использования молекулярных ассемблеров (сборщиков)*

Сама возможность организации крупномасштабного и очень дешевого производства представляет огромный интерес для заказчиков и производителей традиционных или новых видов вооружений, одна-

ко ясно, что такие перспективы могут появиться лишь после внедрения в промышленность обычных (т.е. немолекулярных) нанотехнологий. Многие военные изделия (винтовки, стрелковое оружие разных типов, предметы обмундирования, ракеты, бронетехника, авиатехника, системы автоматического слежения и т.п.) на языке экономистов являются предметами «массового производства и потребления», т.е. должны производиться в очень больших количествах. Например, в близком будущем, возможно, возникнет необходимость организовать масштабное производство на основе НТ совершенно новых видов военно-космической техники (большие и малые спутники, системы запуска, лазерное или пучковое оружие и т.п.). Специфическим для НТ остается пока производство ядерного оружия и связанных с ним материалов (см. подраздел 4.3.7).

Производство военного (как и любого другого) оборудования из традиционных материалов всегда естественно ограничено некоторыми внешними факторами, в качестве каковых могут выступать, например, стоимость или доступность сырьевых материалов (включая даже доступные, типа железа, стали, алюминия или меди), проблемы энергоснабжения, связанные с передачей электроэнергии или транспортировкой топлива и т.п. Конструкция некоторых новых или воображаемых систем оружия по-прежнему подразумевает централизованный монтаж систем, т.е. ситуацию, когда некое большое устройство или материал компонуются из более мелких готовых деталей. Например, крупный объект может создаваться методом «молекулярной сборки» в растворе (содержащем требуемые компоненты) либо механической сборкой в космосе (куда доставляются все необходимые исходные материалы) и т.п.

Однако следует особо отметить, что молекулярные НТ мыслятся авторами в качестве совершенно нового метода атомарной сборки, когда изделия создаются просто-напросто из атомов требуемого типа (кислород, азот, углерод, кремний и т.д.), отбираемых непосредственно из ближайшего окружения, т.е. из атмосферы, почвы, растительной органики и т.п. В принципе, любые объекты и материалы, от самых сложных (датчики, процессоры, приводы) до самых простых (конструкционные материалы, топливо), состоят из атомов разных элементов Периодической таблицы, располагаемых в различных пространственных конфигурациях. Проблема создания любого вещества или устройства, собственно говоря, сводится к расположению требуемых атомов в требуемой пространственной форме, а энергия, необходимая для такой сборки, может быть получена преобразованием

солнечного света и/или за счет преобразования упомянутых выше органических веществ.

По сути, такая сборка может осуществляться даже внутри живых организмов, с использованием энергии процессов метаболизма. Такой «децентрализованный» монтаж очень удобен для создания малых систем, не говоря уже о том, что он позволяет синтезировать любые известные или даже предполагаемые химические или биологические соединения.

В гипотетическом варианте, когда производство самих средств производства (включая ресурсы, энергию, системы транспорта и т.п.) также осуществляется методами молекулярных НТ, процесс в целом позволяет в кратчайшие сроки наладить выпуск и распределение совершенно новых типов оружия. Основным параметром скорости описываемого процесса при этом выступает характерное время «удвоения» исходных наноструктур, которое Габрад [Gubrud, 1997] оценил величиной ~ 15 минут. Исходя из этого, он легко вычислил, что время развертывания новых систем оружия может быть доведено всего до нескольких часов, что теоретически позволяет любому государству начать (а возможно, даже и выиграть) «гонку вооружений», располагая в исходный момент лишь одним-единственным универсальным молекулярным ассемблером и соответствующей программой сборки.

Разумеется, в реальной жизни любой экспоненциально нарастающий процесс не может продолжаться вечно и должен закончиться достаточно быстро из-за недостатка требуемых веществ, энергии, транспортных средств и т.п. С другой стороны, столь же очевидно, что начавшее такую гонку государство к моменту истощения средств уже может приобрести существенный военный потенциал и вытекающие из этого преимущества. Стоит отметить, что описанный драматический сценарий не может осуществляться на начальной фазе развития молекулярных НТ, поскольку он требует длительной подготовки и обучения персонала (см. раздел 2.2.1) и становится сколь-нибудь реальным лишь позднее, после создания достаточно развитой научно-технической базы МНТ. С другой стороны, следует помнить, что многие из стадий такого сценария могут быть значительно ускорены, если общее управление будет осуществляться искусственным устройством с уровнем интеллекта, который сравним или даже превосходит человеческий. Кроме этого, можно еще раз подчеркнуть, что военная направленность и удачная программа развития молекулярных НТ может дать начавшей исследования стороне значительный выигрыш (даже на начальной стадии развития новых технологий) в обладании конкретными видами оружия или сопутствующих систем.

4.3.2. Возможности создания оружия на основе молекулярных НТ

Молекулярные НТ смогут использоваться не только для производства и эксплуатации военной техники традиционного типа, но и для создания принципиально новых средств и методов ведения боевых действий. Такая возможность вытекает из сочетания перечисляемых ниже наиболее характерных особенностей производственных процессов на основе таких технологий и создаваемых при этом устройств и материалов:

- миниатюрность создаваемых изделий;
- экономичность расходования ресурсов в производстве и эксплуатации;
- возможность использования ресурсов (атомов) локального окружения;
- саморепликация (самовоспроизведение) изделий;
- возможность изготовлять огромное число устройств и изделий;
- способность создавать устройства с огромной вычислительной мощностью;
- возможность создания «разумных» изделий, т.е. обладающих способностью к рассудочной деятельности;
- возможность создания датчиков любых типов и в любых количествах;
- возможность создания актюаторов (приводов) любых типов и в любых количествах;
- возможность создавать устройства, способные проникать или «внедряться» в другие объекты и живые организмы.

Производимые на основе молекулярных НТ виды оружия по идее могут применяться для проведения самых разнообразных боевых действий или операций, поскольку они позволяют использовать самые разные физические явления и эффекты. Новые виды вооружений будут связаны как с традиционными методами (взрывное действие, тепловыделение, кинетическое ударное воздействие), так и с совершенно новыми подходами, основанными на использовании радиоактивности, воздействия пучков электромагнитного излучения (создание термических, механических или электрических перегрузок), информационной атаки на искусственные системы или людей, химического и биологического воздействия на материалы и организмы. Кроме этого, рассматриваемые микроскопические виды оружия

могут применяться как одиночно, так и в «стае» или во взаимодействии с какими-либо более крупными и сложными системами.

Разумеется, следует учитывать, использование микрооружия вовсе не означает окончания эпохи крупных боевых систем или прекращения их производства и применения, хотя бы потому, что малые боевые устройства могут нести лишь очень небольшие полезные нагрузки. Вооруженные силы каждой страны в будущем по-прежнему будут включать в себя прежде всего очень важные и крупные объекты (корабли, бункеры, командные центры и другие элементы инфраструктуры), серьезное повреждение или уничтожение которых будет требовать от противника огромных усилий и затрат энергии. В армиях разных стран еще очень долго должны сохраняться и развертываться весьма крупные (образно говоря, макроскопические) виды вооружений типа авианосцев, крупнокалиберной артиллерии, носителей зарядов и т.п., способных выстреливать или как-то иначе обеспечивать переброску мощных тяжелых снарядов и устройств[21]. Еще одним доводом в пользу сохранения крупномасштабных систем оружия является присущая малым системам медлительность реакции и ограниченность радиуса действия. Для переброски микросистем на большие расстояния, особенно при неблагоприятных условиях (например, при неподходящем направлении ветра и т.п.), необходимо применять более крупные устройства, в частности самолеты или даже ракеты (размеры которых, впрочем, могут составлять около 1 м). С другой стороны, многие крупные системы оружия (авианосцы, бронетанковая техника и т.п.) могут в будущем значительно уменьшиться в размерах, если новейшие технологии позволят эксплуатировать их (частично или полностью) в автоматическом режиме.

В настоящее время невозможно предсказать, каким будет соотношение разных по масштабу боевых систем (макро-, микро- и нано-) в армиях будущего. В принципе, следует ожидать развития и совместного использования самых разномасштабных систем оружия: от специально создаваемых «боевых» молекул и наносистем (простых или самовоспроизводящихся) и микро/минироботов до очень крупных боевых систем, некоторые из которых станут автоматическими или даже полностью автономными. Роботы смогут поражать и преследовать цели практически во всех средах, а также, при наличии соответствующих механизмов и энергоснабжения, осуществлять даже крупномасштабные операции под землей. Разумеется, боевые действия в разных средах будут связаны со специальными требованиями и ограничениями, например, в космосе перемещение роботов будет опре-

деляться специфическими законами движения (см. подраздел 4.3.5) и т.д. В подразделах 4.3.3 и 4.3.6 описаны механизмы действия некоторых потенциально возможных видов оружия против военных или гражданских целей противника.

Многие из проектируемых наносистем должны обладать способностью к программированному или даже неконтролируемому самовоспроизведению, которое должно начинаться либо в процессе наведения снарядов на цель, либо при попадании в нее. В соответствии с общей концепцией молекулярных НТ, самовоспроизведение может быть также использовано для дальнейшего синтеза более крупных объектов перед поражением цели или внутри цели после попадания.

Естественно, что создаваемые на основе молекулярных НТ виды оружия очень скоро станут объектами планируемых действий со стороны противника, вследствие чего, весьма вероятно, что дальнейшее развитие МНТ-оружия просто сведется к выработке средств взаимного противодействия. В этом случае мы вновь сможем проследить за классическим состязанием между средствами обороны и нападения (щит и меч), характерным для всей истории военной техники (см. раздел 4.4).

4.3.3. Боевые действия против информационных и коммуникационных систем

Строго говоря, создаваемые на основе молекулярных НТ боевые средства против информационных и коммуникационных систем противника по принципу действия могут быть отнесены к двум совершенно разным типам оружия. Они могут уничтожать информационные ресурсы врага как на уровне физической основы (т.е. осуществлять разрушение материальных носителей информации), так и на уровне самих сообщений и систем. Воздействие может осуществляться самыми разными способами, большинство из которых непосредственно связано с малыми размерами применяемых средств, а также их способностью проникать в чужие системы или даже «сливаться» с ними. Основными действиями оружия нового класса можно считать:

- физическое разрушение физических элементов информационных сетей, систем контроля и каналов (антенны, датчики);
- проникновение внутрь крупных военных объектов противника (авианосцы, транспортные самолеты, командные пункты) или в их системы управления для:

а) уничтожения аппаратного оборудования за счет немедленных или программированных на будущее действий (через контрольный период времени, по внешней команде или по заданному состоянию объекта, например при наборе самолетом определенной высоты и т.п.);
б) воздействия на информационные потоки (подача по антеннам или линиям связи случайных или специальных помех, создание коротких замыканий и т.п.);
в) захвата систем контроля (эта задача вынесена в конец списка, поскольку очевидно является наиболее сложной).

Неточная или ложная информация может вводиться в управляющие системы противника из очень мощного центра, расположенного на очень большом расстоянии. Эффективность обмана противника должна возрастать, естественно, с ростом «способности» центра обрабатывать потоки информации, что возвращает нас к проблеме создания искусственного интеллекта. Очевидно, что, при явном интеллектуальном превосходстве одной из сторон ее победа может быть вполне достигнута в «оптимальном» варианте и без уничтожения противника, т.е. только за счет стратегического обмана, захвата управления важнейшими подсистемами, ограничения доступных ресурсов и т.д. Конечно, столь явное превосходство одной их сторон представляется маловероятным, и, по-видимому, управляющие центры противоборствующих сторон, скорее всего, будут обладать примерно равной интеллектуальной мощью, в результате чего будущие сражения будут протекать с огромным напряжением и носить, возможно, крайне ожесточенный характер. Стоит отметить, что основной вопрос, связанный с созданием сверхмощного, превосходящего человеческий уровень искусственного интеллекта, сводится к тому (см. раздел 2.2.2), каким образом его можно будет заставить подчиняться приказам человека?

4.3.4. Боевые действия против оборудования и инфраструктуры противника

Повреждение или уничтожение материальных объектов противника (типа зданий, транспортных средств, подвижных и неподвижных элементов инфраструктуры и т.п.) может осуществляться различными методами:

- прямое разрушение традиционными, т.е. макроскопическими, способами внешнего воздействия (взрыв, обстрел), при которых молекулярные НТ используются для создания новых средств наведения, материалов, искусственного интеллекта. Нестандартным решением представляется использование МНТ-устройств для новых методов доставки средств поражения к цели (например, в распределенной форме) или для создания поражающих средств в заданном месте;
- массовое применение нано- и микроразмерных систем позволит также осуществлять обычное, внешнее воздействие на оборудование противника нестандартными методами (забивание «стаями» микроустройств воздухозаборников и выхлопных отверстий; создание коротких замыканий в электрических сетях; блокировка антенн, датчиков и смотровых отверстий; механическое повреждение люков, колес, стоек, рулевых устройств, пропеллеров и т.п., включая абразивное воздействие на такие механические детали);
- малые системы могут проникать внутрь поражаемых объектов и повреждать их наиболее уязвимые и важные элементы, для чего могут использоваться самые разнообразные традиционные и новые способы поражения (механическое повреждение, создание термических перегрузок и коротких замыканий, химическое травление поверхности микрочастицами). Как уже отмечалось, воздействие может осуществляться как сразу после проникновения, так и по некоторой заданной программе.

Перечисленные выше возможности использования молекулярных НТ уже сейчас могут быть достаточно легко реализованы при боевых действиях против стационарных объектов противника, однако в борьбе с подвижными объектами проблема «попадания в цель» (во всех смыслах) значительно усложняется. В наземные цели (типа танков или БТР) боевые микроустройства могут достаточно легко «попадать» из воздушной среды (активно передвигаясь в атмосфере или будучи просто распыленными в нужном месте), а также с поверхности земли, как бы прилипая к цели или даже «запрыгивая» на нее. В водной среде микророботы могут быть распределены заранее в заданном районе и находиться там длительное время практически без затрат энергии, «дожидаясь» целей, которые могут быть легко атакованы из-за относительно низкой скорости. Гораздо сложнее обстоит дело с боевыми действиями против высокоскоростных воздушных целей (типа ракет и самолетов), которые могут быть атакованы микророботами лишь на земле или пусковых позициях (хотя в более развернутом варианте системы можно планировать и перехват воздушной цели «роем» микроустройств, распыленных над пунктом запуска или в заданной точке траектории полета).

4.3.5. Возможности боевых действий в космическом пространстве

Создаваемые на основе молекулярных НТ боевые устройства смогут значительно повысить характеристики уже существующих или разрабатываемых методов проведения боевых действий в космическом пространстве, особенно с учетом возможного дальнейшего совершенствования программного обеспечения или даже использования для этих целей искусственного интеллекта. К космическим системам вооружения можно отнести различные устройства ускорения снарядов и боеголовок для использования в космосе или бомбардировки наземных объектов, лазеры, источники микроволнового и пучкового оружия, устройства запуска микроспутников для поражения или манипулирования поведением спутников противника и т.д. Разумеется, все перечисленные задачи и возможности относятся одновременно и к гражданским, и к военным целям и элементам инфраструктуры.

Сушествует уже несколько концепций использования молекулярных НТ в космосе. Большая часть предлагаемых проектов (описанных в известных работах или упоминаемых в прилагаемых ссылках) может быть, очевидно, использована не только в гражданских, но и в сугубо военных целях [Bishop, 1997; Foresight, 1975a; NSS, 1995; McKendree, 2001]. Из наиболее известных планов можно отметить проект «космической башни», описанной выше в разделе 2.1.5. Предлагаемая лифтовая система с канатами, изготовленными из углеродных нановолокон, будет простираться на высоту 100 000 км от экватора и должна позволить значительно повысить эффективность и экономическую целесообразность запуска в космос самых разнообразных спутников любого (в том числе и военного) назначения. С другой стороны, уже сушествующие гражданские программы освоения космического пространства (Луны, планет и астероидов) рано или поздно с неизбежностью потребуют использования не только самовоспроизводящихся автономных устройств, но и организации какой-то реальной системы транспортировки на Землю некоторых добываемых в космосе веществ и материалов. Планируемые системы ускорения космических объектов примыкают к еще одной, пока остающейся фантастикой области космической техники, а именно – к

возможности изменения траекторий астероидов, что, кстати, может сразу привести к военному использованию так называемых «искусственных метеоритов». В этом случае направляемые к Земле космические объекты могут быть превращены в высокоэффективное средство атаки наземных целей, а требуемые для этого операции могут быть осуществлены как в процессе транспортировки из космоса, так и непосредственно на околоземных космических станциях. Почти все важные гражданские проекты, связанные с исследованием космоса или развитием соответствующей техники, могут быть очень легко трансформированы для использования в чисто военных целях. Стоит подчеркнуть, что сказанное относится к практическим проектам освоения космоса, типа ускорения объектов с применением лазеров или пучков элементарных частиц, монтажа в космосе, создания «саморемонтирующихся» стен или панелей, конструирования скафандров из «умных» материалов, предотвращения или лечения радиационных повреждений ДНК у персонала и т.п. К счастью, любимые фантастами проблемы, относящиеся к весьма далеким перспективам полета к звездам или колонизации глубокого космоса, практически не имеют пока никакого реального значения для военных разработок.

Все гражданские и военные действия в космосе осложняются тем, что при запуске с Земли все объекты необходимо разогнать до так называемой первой космической скорости (несколько километров в секунду), вследствие чего в космосе любое их сближение и взаимодействие может происходить лишь в течение нескольких миллисекунд (речь, разумеется, не идет о специально осуществляемых маневрах на орбите, например при стыковке космических кораблей). Кроме этого, отсутствие атмосферы исключает возможность аэродинамического управления полетом и траекторией, из-за чего маневрирование может производиться только за счет принципов реактивного движения. Это условие, конечно, заставляет усомниться в эффективности возможного боевого применения наноспутников, но стоит вспомнить о принципиальной возможности создания миллиметровых и микрометровых по размеру сложных систем, включающих в себя реактивные микродвигатели (на основе солнечных батарей, ионных ускорителей, фотонных двигателей и т.п.). Такие системы могут применяться как самостоятельно, так и в качестве боевых снарядов[22].

Возможности дальнейшего развития и совершенствования таких боевых систем (например, за счет укрупнения и сборки более сложных устройств) в космосе ограничиваются отсутствием источников энергии и материальных ресурсов. Количество поглощаемой солнечной энергии представляется недостаточным для решения сколь-нибудь серьезных технических задач, а источником вещества в космосе могут служить только другие космические тела или «пожираемые» спутники противника.

4.3.6. Боевые действия в космосе против биосистем и живой силы

Ниже перечисляются некоторые возможности использования молекулярных НТ для уничтожения или выведения из строя живой силы противника (включая в это понятие не только людей, но и любые другие живые организмы или искусственно созданные биосистемы).

- Прямое уничтожение с использованием традиционных средств макроскопического разрушающего воздействия (снаряды, взрывы, резкие скачки температуры и давления). Усовершенствование таких средств за счет молекулярных НТ может означать не только повышение технических характеристик (материалов, средств наведения, транспортировки и управления), но и развитие принципиально новых подходов, включая способность формирования самого поражающего оружия в процессе достижения цели.
- Разработка принципиально новых средств воздействия на живые организмы, например использование огромного количества микроустройств, способных забивать или «облеплять» лицо, носоглотку и глаза человека. Другие микроустройства могут «блокировать» пальцы, руки или ноги, а также создавать «сверхскользкие» покрытия на дорогах и т.п. Некоторые виды нанороботов могут быть спроектированы специально для воздействия на клетки, листья и другие органы растений.
- Модификация старых или создание новых типов химических и биологических веществ поражающего действия, включая их инъекцию с помощью искусственных или гибридных насекомых.
- Возможность поражения проникающими в организм микроскопическими устройствами, способными к дальнейшему самовоспроизведению (сразу или даже в соответствии с некоторой программой), что может затем привести к следующим последствиям:
  а) механическое повреждение органов, закупорка и сужение артерий и т.п.;
  б) нарушение работы внутриклеточных механизмов (например, метаболизма ДНК или других процессов функционирова-

ния белков и генов, механизмы которых будут обнаружены и изучены в близком будущем);

в) воздействие на нервную систему и мозг (особенно на механизмы восприятия, мышления и моторной деятельности); контроль над общим состоянием, настроением, восприятием боли и т.п.; контроль сознания человека (что пока представляется наиболее сложной задачей).

4.3.7. Молекулярные НТ и оружие массового поражения

4.3.7.1. Химическое и биологическое оружие

Методы МНТ могут применяться, конечно, для производства химического и биологического оружия, причем создаваемые на их основе новые типы такого оружия могут обладать высокой избирательностью. Последнее обстоятельство, как ни парадоксально, возможно, даже не позволит формально причислять такие типы к оружию массового поражения. С другой стороны, отсутствие избирательного действия может быть запланировано производителем или даже развиться позднее (учитывая специфичность методов молекулярных НТ, мы можем, например, предполагать возможность неконтролируемой эволюции некоторых образцов оружия). Очевидно, что предлагаемые МНТ методики по своей природе исключительно удобны для создания (на основе самых разных химических и биологических агентов) нанометрических устройств, способных к самовоспроизведению после попадания в живые организмы. Возможно, в некоторых случаях атакуемые организмы будут при необходимости подвергаться дополнительному воздействию. Вирулентные характеристики новых типов оружия, т.е. основные параметры поражающего действия (инвазионная способность, эпидемичность, инкубационный период, устойчивость, ретроактивность и т.п.), могут быть значительно повышены по сравнению с существующими видами бактериологического оружия. Необходимые сведения о бактериологическом оружии, а также определения используемых медицинских терминов читатель может найти в книге [Nixdorff et al., 2003: Chs. 2,3]. Заражение новыми типами агентов может осуществляться как традиционными методами и путями (ингаляция, укус насекомого), так и совершенно новыми (например, в результате приема в пищу заранее обработанных растений и т.п.) Используя неожиданные и скрытные методы заражения, атакующая сторона может очень быстро уничтожить значительную часть живой силы противника и добиться существенного военного превосходства. Разумеется, такие действия потребуют одновременно быстрой вакцинации собственного населения, что, кстати, можно также осуществлять тайно (например, добавляя требуемые вещества в питьевую воду и т.п.).

Рассматривается также возможность использования нелетальных химических и биологических агентов, вызывающих серьезные нарушения или поражения психической деятельности. Массовое или длительное применение такого оружия, естественно, может привести к очень серьезным нарушениям общественной жизни и косвенным образом вызвать массовые потери, хотя бы из-за перебоев в нормальном функционировании коммунальных систем. Особое значение могут иметь акции, касающиеся применения веществ пролонгированного действия, например связанных со стерилизацией заданных групп населения и т.д.

Наконец, стоит отметить, что упоминавшаяся выше знаменитая «серая слизь» (подразумевается всеобщая экологическая катастрофа в результате создания неких фантастических «всеядных» устройств, перерабатывающих все окружение в субстанцию, условно называемую серой слизью, grey goo) может быть использована в качестве того, что на современном молодежном и компьютерном сленге именуется «глобальной страшилкой». Такая вероятность вовсе не исключена, свидетельством чего может служить история 60-х годов прошлого века, когда политики запугивали мировую общественность «кобальтовой бомбой», грозящей невообразимым, всеобщим и практически бессмысленным радиоактивным поражением планеты.

4.3.7.2. Ядерное оружие и проблемы ядерного сдерживания

Молекулярные НТ могут использоваться для автоматизации и модернизации практически всех стадий производства ядерного оружия: от добычи урановой руды до установок по обогащению или переработке ядерных материалов. Очень интересной представляется, например, возможность применения молекулярных нанотехнологий для добычи урана из почвы или морской воды, а также в обогатительных установках. В частности, революционным переворотом в производстве ядерного оружия могло бы стать создание гипотетических наноустройств, способных разделять изотопы или их соединения, например, «сортировать» молекулы гексафторида урана UF_6, традиционно используемые в диффузионных колоннах или центрифугах. Конечно,

молекулярные нанотехнологии найдут разнообразные применения в изготовлении всех элементов традиционного атомного оружия (корпус, нейтронные отражатели, детонационные линзы и т.п.). Техника высокотемпературной отливки плутониевых зарядов будет использоваться, по-видимому, еще долгие годы, но для изготовления тиглей, изложниц и другого оборудования можно будет предложить гораздо более эффективные технологические процессы на основе молекулярных НТ.

Следует вспомнить, что только технические сложности получения пригодного для атомной бомбы U^{235} сдерживают широкое распространение атомного оружия. Если бы эти трудности были преодолены, то уже сейчас десятки малых стран могли бы производить малые атомные заряды в огромном количестве, а США вполне могли бы довести уровень их выпуска до нескольких миллионов [Gubrud, 1997].

Молекулярные НТ обещают сделать возможным массовое и очень дешевое производство небольших атомных зарядов. Это утверждение относится лишь к традиционным видам атомного оружия, поскольку, например, упомянутая выше (см. раздел 4.1.19.3) антиматерия будет производиться по-прежнему лишь в очень небольших количествах на огромных ускорителях.

Человечеству удалось избежать ядерной войны в течение достаточно долгого времени не в последнюю очередь благодаря тому, что каждая из обладающих этим оружием стран была уверена в неотвратимости ответного удара при любом нападении. МНТ способны изменить ситуацию, т.е. создать призрачную убежденность (по крайней мере, в перспективе) достижения победы в ядерной войне, чему способствуют перечисленные ниже преимущества и возможности проведения боевых действий атакующей стороной с использованием средств и материалов, обеспечиваемых НТ [Gubrud, 1997]:

- возможность осуществления неожиданной «разоружающей» атаки на вооруженные силы противника (включая бомбардировщики, наземные ракетные установки и командные пункты) при помощи, например, «стаи» стремительно нападающих нано- или микророботов;
- возможность использования большого количества микроскопических подводных устройств, способных следить за подводными лодками противника, а затем и эффективно атаковать их, причем нападение может даже носить миротворческий характер «разоружения» врага, т.е. сводиться, например, к блокировке люков ракетных шахт и т.п.;

- возможность создания активной и достаточно эффективной системы обороны от ракетного удара противника за счет применения принципиально новых средств перехвата воздушных целей;
- возможность создания развитой системы подземных укрытий глубокого залегания (с замкнутым циклом поддержания жизнедеятельности), которая в сочетании с транспортной инфраструктурой быстрой эвакуации городского населения позволяет надеяться на значительное уменьшение ущерба при ядерной атаке противника.

Разумеется, все предлагаемые выше механизмы обороны являются весьма спорными и достаточно сомнительными (особенно две последние возможности). Однако в целом такой подход к военной стратегии может значительно дестабилизировать международную обстановку, так как ядерные державы станут усиливать свои средства ответного удара (увеличивать число боеголовок, совершенствовать систему их размещения, разрабатывать новые средства обороны и т.п.).

4.3.8. *Использование молекулярных НТ для создания оборонительных средств*

Молекулярные НТ позволяют создавать, естественно, не только совершенно новые и весьма грозные средства нападения и поражения избирательного или общего действия, но и совершенно неожиданные типы оборонительного оружия. Эффективность оборонительных действий против создаваемых на основе молекулярных НТ атакующих средств очень трудно оценивать, хотя бы потому, что сами средства поражения пока остаются гипотетическими, вследствие чего все приводимые ниже рассуждения носят приближенный и даже спекулятивный характер.

В области обороны молекулярные НТ должны стать продолжением и развитием рассматриваемых ранее НТ, что обещает значительное совершенствование средств защиты (например, безопасность информационных систем должна повышаться по мере роста степени их автономности). Развитие систем искусственного интеллекта (включая сверхчеловеческий) должно позволить еще надежнее оценивать и предотвращать любые попытки физической или информационной атаки со стороны потенциального противника.

Защита от проникновения в организм наноустройств может быть (по крайней мере, в принципе) обеспечена какой-либо формой изоляции от окружения. Такой подход представляется разумным по от-

ношению к воздушной и водной среде, однако он не снимает проблемы защиты от продуктов питания и т.п. Военнослужащие, принимающие непосредственное участие в боевых действиях, могут, конечно, применять индивидуальные защитные костюмы (типа скафандров), однако такой подход, естественно, не может быть рекомендован к массовому и длительному использованию. Еще менее реалистической представляется организация обороны целых регионов какой-либо страны, вследствие чего наиболее вероятным решением является сочетание широкомасштабных защитных мероприятий с защитными системами, вводимыми внутрь организма.

В рассматриваемых вариантах защита окружающей среды подразумевает прежде всего создание огромного числа (не «стай» и «роев», а целых «армад») защитных микророботов, связанных с управляющими центрами. Такие роботы смогут непрерывно отслеживать состояние атмосферы, водной среды и почвы, выявляя наличие опасных (или даже просто неизвестных) химических веществ и микроустройств. Практическая организация такой глобальной защиты представляется, естественно, совершенно нереальной в настоящее время, поскольку полный контроль должен относиться к регистрации объектов даже молекулярного размера. Более простой и понятной кажется идея «внутренней» защиты организма человека, подразумевающая фактически создание искусственной иммунной системы (наличие единого центра управления при этом не является принципиальным). Такая система может состоять, например, из распределенных внутри тела нанороботов, способных непрерывно контролировать состояние тканей клеток и крови, выявлять наличие неизвестных или опасных веществ, а затем и обезвреживать их различными методами (уничтожение, изоляция, удаление и т.п.).

Естественно, что никакие системы описанного «внутреннего» типа не смогут защитить человека от факторов прямого физического воздействия ядерного оружия (взрывная волна, чудовищная температура, радиационное облучение с уровнем выше летального и т.д.). Наличие внутри организма соответствующим образом запрограммированных роботов может, конечно, в какой-то степени (разумеется, лишь до некоторого уровня облучения) защитить человека от радиационного поражения. Этот процесс может происходить, например, за счет создания в клетках дополнительных копий, т.е. обеспечить быстрый «ремонт» тех повреждений ДНК, которые не могут быть восстановлены природными механизмами биологической защиты самого организма, причем такая возможность была предложена еще очень

давно, в одной из ранних работ Дрекслера [Drexler, 1986], посвященной медицинским перспективам НТ в области иммунологии и борьбы со старением. Предложенная им методика в общих чертах остается чрезвычайно удобной для контроля и управления различными биохимическими процессами в живых клетках.

Разработка таких защитных средств представляется естественной в рамках обсуждаемых проектов создания новейших типов оружия на основе МНТ, однако эффективность их применения остается весьма спорной вследствие следующих принципиальных ограничений:

- любая достаточно автономная (самоуправляемая) система может легко дать сбой или просто быть выведена из строя в результате информационной атаки;
- не существует никакого опыта работы с искусственным интеллектом высокого уровня (любого уровня развития), поэтому такие устройства вполне могут стать «жертвой» перепрограммирования в результате информационной атаки противника или даже просто оказаться способными на «предательство», т.е. начать действовать в каких-то собственных, непонятных человеку целях и представлениях;
- вводимые в организм человека защитные устройства также могут стать целью информационной атаки противника, и в результате такого перепрограммирования они могут не только ошибаться в реакциях, но даже и начать самовоспроизведение по непредсказуемым вариантам.

Общие соображения об эффективности использования описанных выше почти фантастических схем защиты организма от столь же фантастических средств поражения можно обобщить следующими выводами. Любое использование предлагаемых систем подразумевает весьма серьезное вмешательство в естественные процессы, протекающие в окружающей среде и в организме человека, в результате чего само выживание человека начнет в значительной степени зависеть от поведения весьма сложных автономных систем и неконтролируемых взаимодействий между ними. Многие сценарии при этом предсказывают столь быстрое развитие событий, что даже искусственный интеллект (возможно, обладающий сверхчеловеческим уровнем развития) не сможет контролировать их или общую ситуацию. Весь предыдущий опыт человечества, основанный на вечном соревновании средств зашиты и нападения (щит и меч, соответственно), наглядно демонстрирует, что атаку и разрушение организовать легче, чем защиту и созидание. Ис-

пользование новейших технологий, по-видимому, станет еще одним подтверждением этой старой доктрины.

4.4. Методы обороны от нанотехнологических систем военного назначения

Необходимость организации каких-то методов обороны от НТ-систем военного назначения диктуется предполагаемым и весьма вероятным широким внедрением таких систем в близком будущем (см. раздел 4.1), в особенности мини-, микро- и нанороботов, а также новых средств химического и биологического поражения. В дальнейшем, по мере развития и внедрения еще более изощренных методов (молекулярные НТ), необходимость в разработке и организации новых средств защиты от новых средств нападения станет еще более актуальной, поскольку на вооружении сторон может появиться множество устройств, работающих на основе разнообразных новых физико-химических эффектов. Методы зашиты, очевидно, будут также основаны на новейших НТ-разработках, соответствующих все более возрастающей сложности используемых систем и материалов. Наиболее общие тенденции развития оборонительных средств могут быть перечислены в следующем порядке:

1. Общие и стратегические проблемы развития оборонительных средств:
   - повышение скорости обработки информации и связанная с этим автоматизация процессов принятия решений и т.п.;
   - исключение «человеческого фактора», все более широкое применение искусственных систем управления;
   - значительное увеличение общего числа используемых систем;
   - распределение выполняемых функций по большему числу используемых малых систем;
   - повышение «скрытности» систем за счет уменьшения их размеров и развития средств маскировки.
2. Развитие общих и «пассивных» методов обороны:
   - организация общего контроля над состоянием окружающей среды;
   - массовое использование пористых материалов (типа молекулярных сит) для защиты от воздействия посторонних агентов;

   - возможно полная изоляция (инкапсуляция) объектов, включая подсистемы;
   - создание поверхностей с антиадгезионными характеристиками, защищающими от внешнего воздействия;
   - создание очень прочных защитных покрытий нового типа (например, монослойных покрытий, обладающих высокой прочностью, термостойкостью и сопротивлением к ударному воздействию).
3. Развитие методов «активной» обороны:
   - создание сверхмалых ракет и снарядов для борьбы против мини- и микроустройств противника;
   - развитие и создание поверхностей с «активной» защитой, способных противодействовать действию проникающих средств противника или уничтожать такие средства;
   - разработка «сторожевых» мини-, микро- и нанороботов для самых разных сред действия, включая космос, окружающую среду или даже клетки организма.
4. Разноплановые оборонительные методы:
   - разработка контратакующих средств и методов;
   - организация упреждающих ударов и мероприятий;
   - организация превентивных ударов и мероприятий.

Эффективность использования гипотетических средств нападения и защиты с применением НТ в настоящее время практически невозможно оценить, поэтому даже неясно, каким будет их соотношение в рамках реальной оборонной стратегии армий будущего. В целом можно лишь отметить, что в будущих военных конфликтах все более важную роль будут играть упреждающие и превентивные действия.

ГЛАВА 5

ПРЕВЕНТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ НАД ВООРУЖЕНИЯМИ
Концепции и подходы

В этой главе описываются возможные подходы к решению проблем превентивного контроля над вооружениями. В разделе 5.1 излагаются наиболее общие положения и соображения относительно ограничения технологий, в разделе 5.2 – подходы к выработке общих критериев такого контроля, а в разделе 5.3 – обстоятельства и проблемы, влияющие на процесс выработки и реализации соответствующих соглашений.

5.1. Общие проблемы организации превентивного контроля над развитием технологий

5.1.1. Ограничение технологий в гражданском секторе экономики

Существует весьма распространенная точка зрения, что технологический прогресс вообще не может быть ограничен. В этой связи можно лишь отметить, что в современном гражданском обществе имеется огромное количество ограничений как на научно-технологические исследования, так и на реализацию их достижений в форме новых коммерческих товаров или услуг. Бесконтрольные научно-технические разработки практически запрещены почти во всех отраслях науки прежде всего из-за очевидной опасности появления новых веществ, угрожающих здоровью населения вообще (или хотя бы только связанного с их производством персонала). Для очень многих научно-технических направлений (например, в химической промышленности и ядерной технике) законодательно устанавливаются строгие ограничения на работу с определенными веществами и на допустимую концентрацию таких веществ как на рабочих местах, так и в производственных стоках и отходах производства. Точно так же существуют весьма строгие специальные правила, регулирующие работу персонала и деятельность лабораторий, связанных с инфекционными заболеваниями, генной инженерией и т.п. В некоторых областях науки и техники очень серьезные ограничения накладываются не только на изучаемые объекты и вещества, но и на характер или процедуру проведения самих исследований. Например, эксперименты над людьми могут проводиться только при соблюдении целого ряда строжайше определенных условий. Точно так же очень жесткие ограничения наложены на любые исследования, загрязняющие окружающую среду или связанные с политическими проблемами. В качестве примера последнего условия можно привести Германию, где подготовка и осуществление любых ядерных взрывов карается в законодательном порядке, вследствие чего любые исследования в этом направлении являются преступлением (см. параграф 307 Уголовного кодекса ФРГ, в соответствии с которым нарушение этого закона карается пожизненным тюремным заключением).

Более того, следует вспомнить, что любые создаваемые на основе научных исследований изделия и продукты перед началом производства и выходом на коммерческий рынок должны проходить сложные процедуры проверки. Общеизвестны, например, длительные и дорогостоящие испытания, связанные с сертификацией новых фармацевтических препаратов, а также бюрократические проблемы согласования норм безопасности и т.п.[1]

За последние десятилетия мировая общественность стала осознавать, что плохо контролируемое применение новейших технологий может приводить к очень неприятным и непредсказуемым последствиям. В качестве общеизвестных примеров можно указать на массовое применение ДДТ (ставшее причиной тяжелых экологических кризисов), широкое использование в строительстве асбеста (который, как выяснилось позднее, вызывает раковые заболевания), сжигание огромного количества ископаемого горючего (приведшее к повышению уровня содержания CO_2 в атмосфере и парниковому эффекту) и применение хлорфторуглеродов, уничтожающих озонный слой в стратосфере. Все вышеперечисленные явления и события нашли какие-то научные объяснения лишь после очевидных катастрофических последствий, что остро диктует необходимость выработки серьезно-

го, философского подхода к внедрению новых технологий. Современные международные отношения как бы требуют введения некоего нового, «предупредительного» принципа (precautionary principle) для использования научных достижений. Этот принцип должен основываться не на немедленных доказательствах очевидной полезности или вредности данного процесса, а на разумных доводах относительно потенциальных опасностей его применения (в длительной перспективе) для человечества и окружающей среды, включая животных и растения. Описание общей концепции такого принципа, выработанного специалистами Евросоюза, читатель найдет в документе [CEC, 2002].

Сказанное только подчеркивает, что любая свобода научных исследований и разработок на самом деле серьезно ограничена существующим законодательством в гражданской сфере, вследствие чего использование результатов НИОКР для организации производства всегда происходит лишь в разрешаемых обществом пределах. В каждом государстве существуют собственные законы, регулирующие (с использованием силы или юридических законов) выполнение законов, связанных с развитием технологий и производств, а граждане обычно лишь ждут от правительства следования установленным законом правил и наказаний, относящихся ко всем нарушениям уже установленных ограничений[2].

5.1.2. Ограничение военных технологий

Реальная система международных отношений и ограничений в области разоружения является довольно сложной, хотя бы потому, что в существующей схеме международных отношений нет никакого общепризнанного принципа верховного руководства, обладающего каким-либо правом вынесения окончательных решений или санкций за нарушение существующих международных правил. Одним из первых шагов в направлении разработки нового миропорядка стала организация в 2002 году Международного уголовного суда (International Criminal Court), который должен заниматься «...серьезными преступлениями против международного сообщества в целом», таких как геноцид, военные преступления и преступления против человечности (см. сайт http//www.icc-cpi.int). К большому сожалению, следует отметить, что против учреждения этого суда выступают США, примером чего может служить документ [YRW, 2003]. В принципе, Хартия ООН также уделяет много внимания угрозе миру и актам агрессии,

однако, к сожалению, международное право не позволяет дать точные определения (или определить методы предотвращения) таких действий, поскольку до сих пор в международном праве не указан субъект (т.е. международная организация), обладающий легитимностью применения силы в соответствующих ситуациях. С одной стороны, Хартия ООН представляет собой, безусловно, важный этап в развитии правового сознания человечества (хотя бы потому, что она отнимает у государств право объявлять войну). С другой стороны, нельзя не отметить, что эта же Хартия содержит статью 51 (право на самооборону до того момента, когда Совет Безопасности ООН не примет окончательного решения), что на практике означает признание очевидного факта неспособности системы ООН (пока!) реально обеспечивать безопасность стран – участниц договора.

Описанная выше ситуация лишь подчеркивает существующую необходимость государств опираться при обеспечении безопасности на собственные вооруженные силы, т.е. поддерживать их максимальную боеспособность и постоянное совершенствование (включая техническое оснащение, а также непрерывный мониторинг уровня боеспособности возможных противников). Парадоксальность этой ситуации (специалисты по проблемам разоружения называют это дилеммой безопасности) заключается в том, что повышение уровня безопасности одного из партнеров всегда означает снижение уровня безопасности других, что провоцирует развитие гонки вооружений и может в конечном счете привести к незапланированному вооруженному конфликту даже в тех случаях, когда эти же государства успешно сотрудничают во многих других направлениях. Единственным выходом из описанной дилеммы представляется создание такой системы международных договоров по ограничению и сдерживанию вооружений, которая будет включать в себя надежные процедуры взаимной проверки и инспекции. Примером таких договоренностей могут служить Договор об ограничении ядерных испытаний, заключенный еще в разгар холодной войны, или Договор о сокращении обычных вооружений в Европе. Другой выход из создавшейся ситуации состоит в максимально четком разграничении наступательных и оборонительных систем для каждой страны и дальнейшем введении очень строгих ограничений на развитие атакующих средств и возможностей. Такой подход как бы позволит перевести гонку вооружений в область обороны, но и при этом, разумеется, вновь возникнет проблема оценки достаточной защищенности (например, одной страны от возможной коалиции других и т.д.). Было бы очень полезно, если

бы этот подход использовали великие державы (США, Китай, Россия), но в этом случае основная проблема связана не столько с опасениями сторон, сколько с их претензиями на региональное или мировое господство[3].

К сожалению, упомянутая выше дилемма безопасности особенно сильно проявляется в области новейших технологий, поскольку именно они позволяют надеяться на обеспечение военного превосходства, в результате чего между соперничающими странами часто возникает гонка вооружений (ускоренное внедрение все более совершенных видов оружия), приводящая к острейшим ситуациям. Проблему усугубляет и то обстоятельство, что совершенствование боевых систем осуществляется одновременно по многим параметрам (увеличение дальности действия, повышение числа поражаемых целей, рост точности или быстродействия и т.п.), множество примеров чего дает история развития ядерного оружия в период холодной войны. Каждый раз технологический прорыв одной из сторон в конкретном направлении, например переход от ядерного деления к синтезу (т.е. от атомной бомбы к водородной), появление межконтинентальных ракет, разработка разделяющихся ракетных боеголовок и т.п., приводил к принятию энергичных контрдействий обратной стороны и нарастанию международной напряженности. Однако стоит отметить, что в некоторых случаях сторонам удавалось все же «блокировать» опасный механизм соперничества и договориться о превентивных мерах ограничения, примером чего может служить Договор об ограничении средств противоракетной обороны (Antiballistic Missile ABM Treaty), разработанный в 1972–2002 годах.

Вообще говоря, договоры о превентивном ограничении военных технологий представляют собой обычные акты добровольного согласия сторон, заключаемые суверенными государствами с учетом собственных интересов. Проблема заключается в том, что в настоящее время не существует высшего международного органа управления, позволяющего контролировать выполнение заключаемых соглашений, вследствие чего в сложных ситуациях (например, при сомнении в добросовестности партнера) государствам приходится самим искать выход из создавшегося положения. Простейшим выходом для многих становится просто разрыв соглашений и начало собственных разработок, что дискредитирует саму идею заключения таких договоров.

Альтернативой описываемой ситуации могла бы стать только организация системы эффективного взаимного контроля, позволяющей своевременно выявлять нарушения договора и реагировать на них. В

этом случае первичной реакцией могут стать переговоры с целью заставить партнера изменить линию поведения, и лишь в случае неудачи или срыва таких переговоров можно разрывать соглашения, приступать к контрмерам и т.п.

Для поддержания требуемого уровня взаимной безопасности сторонам следует договориться об адекватных и проверяемых ограничениях наиболее опасных видов военных технологий и параллельно с этим ввести количественные и качественные ограничения на уже существующие виды вооружений. В идеале такие соглашения в будущем должны привести к значительной реструктуризации вооруженных сил, а затем и к общему улучшению политико-экономических отношений между государствами, что сделает бессмысленным вооруженные конфликты.

Однако автор хотел бы подчеркнуть, что следует приветствовать любые соглашения по ограничению как новейших разработок оружия, так и традиционных видов войск и оборудования, даже без учета столь длительной и серьезной перспективы.

5.1.3. Ограничения технологий и задачи вооруженных сил

Соглашения об ограничении развития технологий означают, в сущности, некоторые ограничения, накладываемые правительством или страной на эффективность действия собственных вооруженных сил, поэтому принятие политиками решений по этим вопросам всегда является очень сложным процессом, зависящим от множества факторов. Принимающие решение политические лидеры исходят прежде всего из ожидаемого эффекта использования новой технологии, т.е. из оценки ее реализуемости, оборонного значения и т.п. Охотнее всего политики накладывают ограничения на технологии, кажущиеся им и экспертам «малоперспективными». Забавно, но этот факт имеет большое значение, поскольку военную значимость многих проектов оценить очень трудно, вследствие чего множество потенциально опасных разработок не получает финансирования и разрешения на начало исследований. Кроме этого, стоит отметить, что любые ограничительные соглашения (даже по незначительным в военном отношении проблемам) способствуют развитию атмосферы доверия между странами и создают основу для более важных договоренностей. В качестве примера таких соглашений можно привести Договоры о демилитаризации Антарктиды, Луны и т.п. (разумеется, скепти-

ки отметят, что эти договоры не имеют пока никакого практического значения) или Соглашение о всестороннем запрете использования любых видов оружия за пределами геостационарной орбиты (радиус которой составляет ~ 35 800 км). Реальная угроза миру и человечеству заключается скорее в том, что стороны перестанут соблюдать условия этих соглашений, как только развитие военных технологий позволит им получить значительные преимущества от нарушения договоренностей.

Принятие политических решений об ограничении военных технологий в значительной степени определяется задачами, которые руководство страны ставит перед своими вооруженными силами в предполагаемых обстоятельствах их использования. Выполняемые вооруженными силами стратегические задачи можно упрощенно классифицировать следующим образом:

- крупномасштабный вооруженный конфликт за пределами собственной территории с войсками противника при различном соотношении сил (превосходство, примерное равенство, относительная слабость);
- защита собственной территории от крупномасштабного вторжения сил противника;
- глобальные и региональные военные операции, связанные с кризисами или так называемым «принуждением к миру»;
- защита и оборона от действий террористов.

Очевидно, что каждая из этих задач должна решаться с использованием военной техники разного типа, необходимая модификация которой происходит с различной скоростью. Проще всего ввести ограничения на развитие военной техники, относящейся к крупномасштабным и глобальным военным операциям. Однако во всех случаях стороны должны стремиться ограничить развитие хотя бы наиболее опасных и дестабилизирующих технологий. В конце концов, следует помнить, что вооруженные силы должны применяться лишь в самых крайних ситуациях, а конечной и главной целью их существования является предотвращение войны. Политики не должны допустить, чтобы процесс подготовки армии к опасной (и крайне нежелательной) войне стал фактором, повышающим вероятность ее развязывания или возникновения.

Конечно, любое (превентивное или обычное) ограничение вооружений как бы противоречит общей тенденции подготовки армии к будущей войне, но стоит учесть, что взаимные ограничения больше

способствуют укреплению международной безопасности, чем непрерывное наращивание вооружений, хотя такая точка зрения еще недостаточно четко осознается широкой общественностью и политиками.

5.1.4. Превентивные ограничения вооружений после периода холодной войны

После распада СССР в мировой политике произошли большие изменения. В частности, с одной стороны, США и Россия все чаще выступают в качестве партнеров, а не соперников, и одновременно происходит заметное смягчение напряженности между США и Китаем, так что вероятность военного конфликта между этими державами представляется маловероятной. С другой стороны, эти страны продолжают сохранять и развивать свои вооруженные силы, поддерживая их боеспособность. Великие державы и несколько других стран, обладающих ядерным оружием, продолжают непрерывно расширять и укреплять свой «ядерный потенциал» (см., например [Steinbruner and Lewis, 2002; Russia, 2000, 2000a]).

Несмотря на положительные сдвиги в международных отношениях, продолжает сохраняться и общая тенденция использования новых технологий для обеспечения превосходства в возможном военном противостоянии (или хотя бы для предотвращения возможного нападения), в результате соревнование в военно-технических исследованиях не прекращается. Более того, именно нанотехнологии, обещающие привести к революционным изменениям в различных областях науки и техники, способны резко обострить это соревнование и, возможно, даже вызвать новую гонку вооружений (см. главу 4).

Военно-политическая ситуация с обменом технологий является достаточно сложной. Собственно говоря, все сказанное выше о соперничестве может быть отнесено, с небольшими оговорками, даже и к отношениям между странами, считающимися или являющимися военными союзниками. Действительно, при любой форме сотрудничества (дипломатического, военного, политического) и союза между двумя странами всегда следует учитывать возможность внутриполитических перемен в одной из стран, после чего бывший союзник может легко превратиться в потенциального военного противника[4]. Эти соображения обычно удерживают политиков от излишней «открытости» в военно-техническом сотрудничестве и часто ограничивают передачу важной информации даже странам-союзникам, но, с дру-

гой стороны, вся логика гонки вооружений «подталкивает» страны-союзники к более тесному военно-техническому сотрудничеству, унификации и стандартизации вооружений и т.п., что, в свою очередь, ведет к выравниванию уровней научно-технического производства стран, входящих в военно-политические союзы[5].

Однако возможна и ситуация возникновения гонки вооружений из-за того, что какая-то отдельная страна добьется неожиданных и важных успехов в какой-то определенной области военной техники (например, в производстве автоматических боевых машин, микроботов или микроракет), в результате чего в «соревнование» могут включиться не только потенциальные военные противники, но и даже страны, связанные союзническими или дружественными отношениями.

Сказанное еще раз подчеркивает, что даже после окончания холодной войны правительства и общественность должны продолжать борьбу за поддержание мира и стабильности и за заключение новых международных договоров по превентивному ограничению вооружений. Любое снижение уровня напряженности позволит затем перейти к более широкомасштабным ограничениям и соглашениям.

С другой стороны, следует учитывать, что в настоящее время основная угроза международной безопасности все чаще исходит не от крупных держав, обладающих мощными армиями и вооружениями, а от так называемых стран-изгоев (с которыми невозможно или трудно заключать договоры об ограничении вооружений) или даже от террористических организаций. Разумеется, маловероятно, чтобы такие страны или организации смогли самостоятельно развить и внедрить какие-то военные НТ, однако они могут воспользоваться разнообразными уже существующими новейшими технологиями, полученными из технически более высокоразвитых стран. Это обстоятельство еще сильнее диктует необходимость заключения между странами, способными производить НТ-вооружения, серьезного международного пакта, позволяющего предотвращать попадание любых видов нового оружия в распоряжение террористических групп и стран-изгоев. Необходимо обеспечить максимальный контроль за распространением новых видов вооружений, включая специальные ограничения на экспорт так называемых технологий двойного назначения[6]. Сама возможность применения качественно новых технологий странами-изгоями должна побудить промышленно развитые страны к введению эффективных и жестких ограничений.

5.2. Критерии и возможности осуществления превентивного контроля над вооружениями

Общая концепция осуществления превентивного контроля над вооружениями была выработана еще в годы холодной войны, история которой дает множество наглядных примеров ухудшения и обострения международных отношений в результате появления и развития новых видов военной техники (водородная бомба, межконтинентальные ракеты, разделяющиеся ядерные боеголовки и т.п.). В каждом таком случае заключение договоров об ограничении уже развернутых систем вооружения оказывалось очень трудной проблемой, поэтому ясно, что именно превентивные меры контроля над вооружениями позволят предотвратить такое развитие событий и остановить практическое внедрение опасных военных технологий. Подробнее этот вопрос освещен в работе [Neuneck and Molling, 2001], а также в публикациях [Peterman et al., 1997; Brauch et al., 1997; Neuneck and Mutz, 2000], упоминаемых в отчете Отдела экспертной оценки технологий Парламента ФРГ.

Превентивный контроль над вооружениями включает в себя следующие четыре стадии:

1) проведение *научного анализа* перспектив развития в данном направлении;
2) анализ *военно-операционных* аспектов проблемы;
3) всесторонняя оценка результатов двух предыдущих исследований на основе *критериев превентивного контроля над вооружениями*;
4) выработка рекомендаций относительно методов *ограничения* и *проверки*.

Такая комплексная экспертная оценка требует не только сложных, междисциплинарных экспертиз и оценок, но и консультаций с практическими руководителями производств (бизнесменами, инженерами, менеджерами). Успехом такой экспертизы следует считать правильную оценку ситуации, позволяющую государству вести серьезные и обоснованные переговоры о заключении межправительственных соглашений.

Данная книга написана в качестве продолжения предшествующего исследования автора по микросистемным технологиям [Altmann, 2001], выполненного в рамках объединенного франко-германского проекта, в котором, кстати, и был сформулирован приводимый ниже

набор критериев, позволяющих выделять особо «опасные» технологии. Этим термином мы обозначаем технологии, развитие которых потенциально способно привести к созданию видов оружия, обладающих принципиально новыми характеристиками и требующих применения превентивных методов контроля и ограничения. Предлагаемые критерии могут быть условно разбиты на следующие три группы [Neuneck and Molling, 2001].

I Критерии, связанные с поддержанием и развитием эффективности методов контроля над вооружениями, разоружением и соблюдением международных законов:
   - предотвращение нарушений уже существующих или планируемых международных соглашений по контролю над разоружением;
   - поддержка или проверка соблюдения существующих норм гуманитарных законов;
   - предотвращение возможностей использования в качестве средства массового уничтожения.

II Критерии, связанные с установлением и укреплением международной стабильности:
   - предотвращение любой дестабилизации международных отношений;
   - предотвращение возможности возникновения любой гонки вооружений;
   - предотвращение любого процесса так называемого горизонтального, вертикального или диффузионного/«ползучего» распространения опасных военных технологий, веществ или знаний.

III Критерии, связанные с защитой человечества вообще, окружающей среды и социальной структуры:
   - предотвращение опасностей, грозящих всему человечеству;
   - предотвращение опасностей, грозящих окружающей среде и стабильности развития;
   - предотвращение опасностей для социально-политических систем;
   - предотвращение опасностей для социальной инфраструктуры.

Разумеется, перечисленные критерии не предлагаются в качестве незыблемых «скрижалей» или библейских заповедей[7] и нуждаются в дальнейшем обсуждении, развитии и уточнении. Ниже, в главе 6, мы

еще раз обсудим перечисленные критерии, исходя непосредственно из потенциальных возможностей военных приложений НТ.

5.3. Разработка превентивных ограничений

В принципе, превентивные ограничения, накладываемые на любые новые технологии, могут принимать самый различный характер, а их формулировка зависит от общих задач, конкретных типов технологии, политических обстоятельств и т.п. Выработке правил всегда предшествует поиск ответов на ряд принципиальных вопросов: каким образом могут быть учтены разнообразные интересы сторон, риски и преимущества? Как конкретно должны быть сформулированы ограничения? На какой стадии развития технологических процессов должны вводиться ограничения? Как можно учесть возможности развития НИОКР в гражданском секторе экономики?

Помимо этого, в каждом конкретном случае остаются сложные проблемы, связанные с постоянным существованием так называемой «серой», промежуточной зоны между разрешенными и запрещенными технологиями, вследствие чего договаривающиеся стороны всегда должны тщательно вырабатывать определения и согласовывать их в общем пакете межправительственных соглашений, что, конечно, выходит далеко за рамки привычной научной деятельности.

5.3.1. Учет преимуществ, рисков и стоимости

Большая дополнительная проблема связана с тем, что при рассмотрении каждой конкретной технологии, помимо учета перечисленных выше общих критериев обоснования запрета военных приложений, обычно необходимо принимать во внимание и доводы, относящиеся к возможному использованию этой же технологии в гражданском секторе экономики. Представляется очевидным, что было бы очень полезно запретить опасные военные приложения новых технологий, сохранив одновременно какие-то возможности их ценного использования в промышленности и в гражданском секторе. К сожалению, в таких ситуациях почти невозможно провести четкое разделение, причем нередко оно сложным образом переплетается с проблемой проверки выполнения заключенных соглашений. Решение в таких случаях обычно находят в результате длительного согласования и «торгов» (относительно преимуществ и потерь сторон по нескольким позициям), хотя стоит отметить, что споры и дискуссии на таких пере-

говорах обычно протекают гораздо спокойнее, чем при обсуждении полных и строгих запретов.

Если конкретная технология не запрещена полностью, то на ее приложения обычно накладывается ряд специфических ограничений по параметрам (размеры, мощность, скорость, нагрузка и т.п.). В большинстве спорных случаев опасные и безопасные применения несколько «перекрываются», из-за чего при определении разрешаемого значения какого-либо параметра экспертам приходится тщательно оценивать получаемые преимущества (повышение уровня безопасности) и очевидные потери (невозможность использовать потенциально ценную технологию). Слишком широкие границы спорных параметров позднее могут позволить потенциальному нарушителю соглашения легче обойти запреты и обмануть партнеров, однако, к счастью, обычно набор ограничиваемых параметров является довольно обширным, вследствие чего всегда остаются возможности для маневрирования и согласования позиций сторон. Дополнительными юридическими инструментами являются условия и правила введения запретов в силу, а также их верификации. В качестве примера автор может привести переговоры по запрету лазерного оружия, на которых он предложил вводить ограничения на мощность больших лазеров постепенно[8].

Особые риски и расходы связаны с проверкой (верификацией) заключенных соглашений. Общие проблемы проверки рассмотрены в работах [Scheffman, 1985, 1986], а специально относящиеся к верификации научно-технических разработок – в работе автора [Altmann, 1994]. Понятно, что более надежная и тщательная система проверки заключенных соглашений обеспечивает большую безопасность и позволяет сохранять более высокий уровень доверия и безопасности, однако не стоит и забывать, что организация такой системы подразумевает одновременно и значительные расходы по осуществлению инспекционных мероприятий.

В тех случаях, когда стороны договариваются о проверке заключенных соглашений национальными средствами, все расходы по контролю ложатся на инспектирующую сторону, а в случае организации совместных проверок (особенно так называемых проверок технологий и оборудования «на месте») – на проверяемую сторону. Кроме того, все «принудительные» инспекции весьма осложняются проблемой соблюдения конфиденциальности (особенно когда затрагиваются законные права на коммерческие или военные секреты), не говоря уже о перебоях в нормальной работе предприятий или учреждений,

подвергаемых проверке. Условия и требования проведения проверок особенно усложняются при инспекции малых и многочисленных объектов, тесно связанных с гражданским производством и бытом.

Поэтому многие важные договоры проверяются только национальными средствами. Например, выполнение условий Договора о частичном запрете ядерных испытаний (1963 год) осуществляется целиком собственными силами стран-участниц (так что в тексте договора даже не упоминается процесс инспекции), так как сигналы проведения таких испытаний распространяются по всей планете. В качестве обратного примера можно привести контроль над химическим оружием, которое может производиться не только на крупных химических заводах, но и на очень мелких и даже тайных предприятиях, вследствие чего Конвенция о запрещении химического оружия (1993 год) включает весьма подробное Приложение об инспекциях, содержащее весьма сложную систему проверки (в том числе и так называемые «инспекции по требованию»). Необходимость сохранения коммерческих или военных секретов делает бессмысленным заключение многих «фиктивных» договоров о запрете производства конкретных видов военно-технической продукции (например, микропроцессоров с шириной регистра более 16 бит, неинерциальных систем наведения снарядов с весом менее 1 кг и т.п.). Любая практическая проверка выполнения таких договоров потребует слишком детального изучения конкретной военной продукции и приведет к недопустимой утечке военных секретов. Исходя из сказанного, гораздо разумнее накладывать ограничения на некоторые свойства и характеристики систем в целом, причем именно такие, наличие которых может быть проверено независимым образом.

Интересно рассмотреть с этой точки зрения проблему контроля биологических средств и токсинов, сравнив их с микроэлектронными чипами, размеры которых к тому же постоянно уменьшаются. Принципиальная разница заключается, конечно, не в размерах электронных изделий (они все еще остаются гораздо крупнее бактерий и токсинов) и не в их «штучном» характере, а в том, что любое военное применение бактерий требует серьезных предварительных лабораторных исследований в крупных, хорошо оборудованных лабораториях. Кроме того, химическое и бактериологическое оружие требуют использования соответствующих дополнительных систем хранения, доставки и распределения. Однако приведенная выше аналогия представляется достаточно прозрачной, вследствие чего, например, при обсуждении Протокола об условиях проверки Конвенции о запреще-

нии биологического и токсического оружия предлагалось использовать примерно те же правила проверки, которые были выработаны для Конвенции о запрещении химического оружия [BWC ANG, 2001]. Следует лишь с сожалением отметить, что переговоры о заключении Конвенции о запрещении биологического и токсического оружия (которые велись с 1995 года) были прерваны в 2001 году по желанию США, прекративших в одностороннем порядке обсуждение этого вопроса [Nixdorff et al., 2003: Ch.8][9].

В начальный период введения ограничений на НТ-разработки можно предложить проведение соответствующих инспекций, хотя бы на нескольких центральных предприятиях. Однако представляется очевидным, что при реальном развертывании производства дешевых и распространенных типов микроустройств любые инспекции разного типа (включая и самые эффективные: «всегда и везде», «по первому требованию» и т.д.) будут бесполезными. Сказанное в еще большей степени относится к молекулярным НТ, позволяющим «выращивать нечто опасное» практически в домашних условиях, имея в качестве исходной базы лишь одно-единственное микроустройство. В этих случаях необходимо будет ввести строгие ограничения на производственные процессы с использованием универсальных молекулярных ассемблеров в некоторых организациях. Для самовоспроизводящихся наносистем (когда, в принципе, стратегическое преимущество может быть достигнуто созданием единственного прототипа) любая проверка может оказаться слишком сложной и трудной. Теоретически проверку можно осуществлять «наномониторами», способными выявить и зарегистрировать изготовление первого нелегального устройства, однако понятно, что для контроля потребуется огромное количество таких мониторов и это может дополнительно усложнить ситуацию и создать новые возможности для дезинформации. К рассматриваемой проблеме применимы рассуждения разделов 1.5.1 и 1.5.5, относящиеся к перспективам создания «активных щитов» защиты.

Более легкой представляется проверка ограничений, накладываемых на НТ-системы, входящие в состав макроскопических (с размерами порядка 1 см) устройств и видов оружия. В этом случае могут осуществляться так называемые случайные (незапланированные) проверки размеров изготовляемых изделий, производственных мощностей, подготовки персонала и т.п.

Учет и согласование всех преимуществ и потерь, связанных с введением ограничений и соответствующих инспекционных мероприятий, является очень сложным процессом. Армейское руководство

стран с развитой военной промышленностью обычно крайне настороженно относится к любым попыткам введения ограничений, поэтому политические лидеры таких стран должны настойчиво убеждать общественность в преимуществах разработки предупредительных мер и обеспечения мирного развития в рамках эффективной международной системы безопасности. Правительства и общественные лидеры должны всячески пропагандировать идею о том, что в современном мире разумнее отказаться от «узкой» опоры на собственные вооруженные силы и пришло время задуматься об обеспечении обороны в рамках «широкой» международной системы договоров и сотрудничества[10]. Более того, политикам следовало бы всегда предлагать именно «излишне строгие» ограничения для того, чтобы при будущем обсуждении и учете интересов всех кругов общества (не только военных, но и промышленных) у политиков разных стран оставалось место для маневра и взаимных уступок.

Говоря о стоимости инспекционных мероприятий, следует помнить, что их высокая цена всегда оправдывается очевидной необходимостью. В настоящее время национальные инспектирующие организации часто содержат штат в несколько сот сотрудников и затрачивают десятки миллионов долларов или евро для уверенности в том, что страны-соперники не обладают какими-то особыми военными преимуществами (например, не имеют дополнительных десятков тысяч солдат или военного оборудования стоимостью в миллиарды долларов). Эти затраты оправдываются тем, что проверяющая страна может не тратить свои деньги и ресурсы для компенсации гипотетического отставания в какой-то области военной техники. Создание международных контролирующих учреждений типа Организации по предотвращению распространения химического оружия (Organization for the Prevention of Chemical Weapons) или Организации по контролю за испытаниями ядерного оружия (Comprehensive Test Ban Treaty Organization, CTBTO) могло бы стать экономически выгодным проектом, поскольку таким учреждениям удается осуществлять инспекционные проверки во всемирном масштабе, располагая всего несколькими сотнями сотрудников[11]. В самом общем плане хотелось бы отметить, что введение любых адекватных и проверяемых ограничений на вооружения и организация контролирующих мероприятий будут всегда обходиться намного дешевле, чем подготовка к взаимным вооруженным конфликтам.

Разумеется, каждое государство имеет право самостоятельно решать вопрос о присоединении к договорам об ограничении каких-либо кон-

кретных типов оружия, исходя из собственных представлений о безопасности и различных политических, экономических и военных соображений. Организации, занимающиеся исследованиями в области разоружения и контроля над производством оружия, ставят своей целью тщательное изучение возможных последствий таких политических решений, а также оценку их вероятных последствий и выработку соответствующих рекомендаций. Конечно, решающим фактором в рассматриваемых вопросах остается политическая ситуация в конкретных странах, поэтому общая картина достижений в области разоружения и контроля над вооружениями может показаться весьма неутешительной (см. раздел 7.4), однако следует всегда помнить и надеяться, что политические обстоятельства могут изменяться в лучшую сторону, даже если такие изменения и происходят очень медленно. Изменения могут быть связаны как с новыми событиями, так и с общественной атмосферой в целом. Любые правительства рано или поздно уходят в отставку, а общественное мнение проникается новыми идеями в результате текущих событий и их осмысления.

5.3.2. Уровень и специфичность вводимых ограничений

В принципе, вводимые ограничения могут носить самый различный характер и охватывать контроль производства на самых разных уровнях. В частности, можно предложить следующую простую и удобную классификацию:

- крупные и мелкие отрасли технологий в целом (например, к НТ вообще, молекулярным НТ или изготовлению конкретных типов наночастиц);
- чисто военные применения или конкретно связанные с ними операции (например, проведение некоторых видов контроля местности, разработка антиспутников и т.п.);
- конкретные боевые системы (автономные боевые устройства, диагностика с использованием имплантируемых устройств, доставка препаратов и лекарств в организме и т.д.).

Практически все заключенные в прошлом известные соглашения в области превентивного контроля вооружений могут быть отнесены к двум последним категориям [ABM Treaty, 1972–2002; Biological Weapons Convention, 1993; Protocol on Laser Blinding Weapons, 1995], так как ограничения на целые области технологий накладываются очень редко, причем они никогда не являлись всеобъемлющими. Например, даже договоры о частичном и всеобщем запрете ядерных испытаний [Partial Test Ban Treaty, 1963; Comprehensive Test Ban Treaty, 1996] исключали из ограничений проведение некоторых НИОКР с использованием ядерных взрывов[12].

На уровне отраслевых технологий обычно труднее всего провести четкое разграничение военных и гражданских производств, что представляет особую важность при выработке рекомендаций относительно контроля над многими НТ-процессами. В частности, безусловно следует ожидать сложных дискуссий и споров относительно определений и правил при манипулировании функциями и возможностями человеческого организма. Любые исследования в этой области имеют очень высокую социальную и экономическую значимость, и было бы крайне нежелательным запретить все исследования в данном направлении в рамках какого-либо из ограничений НТ. В данном случае превентивные ограничения на развитие новых технологий могут быть введены, по-видимому, на уровне военных применений и операций (либо даже на уровне специфических военных систем). Любое соглашение относительно разработок в этой области должно учитывать необходимость и важность их гражданских применений, вследствие чего речь может идти не о всеобъемлющем запрете исследований и производств, а лишь о строгом ограничении тех исследований, которые имеют четко выраженный военный характер.

Во многих случаях НТ могут привести к созданию и использованию совершенно новых средств и методов проведения военных действий, и специфические ограничения должны относиться именно к предотвращению таких угроз. С другой стороны, очень часто опасность связана скорее с характером военных операций, а не непосредственно с самими используемыми НТ. В этих ситуациях представляется более разумным ограничивать в договорах именно конкретные военные задачи и действия, вследствие чего запрет на использование НТ будет как бы автоматически включаться во всеобъемлющие соглашения. Например, новые виды биологического оружия (с использованием НТ) явно подпадают под действие уже существующих правил Конвенции о биологическом оружии, а создаваемые на основе НТ микроустройства (например, антиспутники и т.п.) являются, в сущности, незаконными из-за уже заключенных договоров о полном запрете использования оружия в космосе (см. раздел 6.4.6).

Полный запрет на проведение некоторых видов военных операций и задач может быть реализован, конечно, лишь в очень редких случаях, поскольку большинство таких действий, типа оценки ситуации для

предотвращения или подготовки вторжения (например, под угрозой ядерного нападения), вообще не связаны непосредственно с чисто техническими задачами, а их предотвращение обусловлено лишь в рамках коренной перестройки системы международных отношений. Пока государства продолжают сохранять собственные вооруженные силы, ограничение каких-то видов вооруженных действий не может быть прекращено простым введением запретов. Мировое сообщество должно разработать принципиально новые подходы для предотвращения военных конфликтов и других глобальных катастроф, угрожающих существованию всего человечества. В связи с обсуждаемыми ограничениями особое значение имеет проблема микророботов и их очень важных и разнообразных применений (как в военном, так и в гражданском секторе), которая будет подробнее рассмотрена ниже, в разделе 6.4.5.

5.3.3. Развитие нанотехнологических исследований

Используя очень простую, линейную модель развития, историю разработки и внедрения любой новой военной технологии (некоторые авторы употребляют даже термин «жизненный цикл» технологии) можно свести к следующим основным стадиям[13]:

- исследования, НИОКР;
- совершенствование, изготовление опытных образцов;
- испытания;
- организация производства;
- развертывание системы и принятие ее на вооружение;
- практическое применение[14].

Целью превентивных ограничений по определению является предотвращение развертывания новых видов оружия, поскольку оно подразумевает и включает в себя (по совокупности, как говорят юристы) запрет на использование и делает ненужным организацию производства. Еще меньше вариантов для подготовки новых видов оружия оставляют соглашения о запрете использования спорных технологий. Такой строгий запрет вводит, например, Протокол о лазерном оружии ослепляющего действия (1995 год), который (несмотря на узкую сферу его применимости) может служить интересным примером, так как он позволил практически остановить исследования, изготовление опытных образцов, испытания и поступление на вооружение целого класса нового оружия. Конечно, заключение этого соглашения нельзя отнести к крупным достижениям, поскольку оно ограничивает развитие лишь очень специфических технологий и редкого типа оружия (не представляющего серьезного интереса для военных кругов). Кроме того, возможность применения ослепляющих устройств давно вызывала раздражение и озабоченность общественности, ввиду того что этот типа оружия может приносить излишние страдания и противоречит многим общим положениям международного права.

В тех случаях, кода речь идет о действительно важных военных разработках, связанных с возможностью создания серьезного боевого оружия, по-видимому, дипломатам следует добиваться лишь хотя бы запрета на развертывание новых видов оружия. При этом государства будут тайно (или даже явно) осуществлять военные разработки и изготовлять опытные образцы, т.е. как бы проходить все стадии развития, но не будут иметь право на реальное развертывание новых боевых систем. Конечно, такая ситуация не является совершенной (так как она будет вызывать беспокойство у партнеров по соглашению, создавая атмосферу страха и подозрительности), но и она ставит достаточно серьезные дополнительные препятствия перед практическим внедрением опасных НИОКР. Вообще говоря, упомянутые договоры о запрете только развертывания новых боевых систем всегда будут недостаточно надежными из-за органически «встроенной» в них возможности быстрого нарушения.

В качестве меры по усилению действенности договоров и повышению доверия к их выполнению следует вводить наиболее общие ограничения на наиболее раннем этапе развития опасных технологий, т.е. стараться запрещать в соглашениях испытания и изготовление опытных образцов продукции. Конечно, для большей строгости и полноты картины следует отметить, что проблема ограничений возникает лишь на некоторой стадии НИОКР, когда становятся ясными возможности конкретных приложений. На этой стадии последующий запрет испытаний будет уже касаться и гражданских (потенциально важных и ценных) приложений технологии, что значительно осложнит задачу переговоров. Более того, само начало исследований очень часто бывает связано именно с надеждами на производство важных коммерческих товаров, вследствие чего введение слишком сильных ограничений может вызвать активное сопротивление со стороны заинтересованных политических и экономических кругов. Такая ситуация характерна вообще для внедрения новых технологий, а в случае НТ ее значение особо усиливается из-за широкого диапазона потенциальных применений предлагаемых технологий.

Проблема усиления запретов на проведение исследований в области НТ весьма осложняется существующей пока «открытостью» этих работ, а также отсутствием точных определений и систем проверки, вследствие чего пока следует стремиться к введению ограничений при изготовлении образцов и на последующих стадиях. При этом, конечно, ограничиваются прикладные исследования, ведущие к развитию запрещенных военных технологий, однако предполагается, что удачно выбранные ограничения на дальнейшие стадии (развитие, испытание образцов, развертывание новых систем) в сочетании с правильной системой проверки приведут к тому, что на государственном уровне никогда не будет утверждено решение о принятии некоторых систем на вооружение. Последнее обстоятельство является наиболее существенным, так как почти наверняка никому не удастся обеспечить финансирование разработок, которые почти заведомо не будут доведены до реализации в опытных образцах и внедрения. Если даже какие-то из таких исследований и будут продолжаться, то уже на стадии изготовления опытных образцов такое изделие должно будет пройти длительные и достаточно легко проверяемые испытания, в результате чего быстрый и неожиданный отказ какого-либо государства от заключенных соглашений становится маловероятным. Конечно, для повышения степени доверия участников следует всячески поощрять различные меры, способствующие «прозрачности» исследований.

Однако в некоторых специальных случаях единственной рекомендацией остается полный запрет на исследовательские работы. Например, конкретно в НТ такой запрет следует наложить на исследование возможностей создания самовоспроизводящихся систем, распространение которых позднее будет очень трудно (или практически невозможно) остановить. По этой же причине следует ограничить любые детальные разработки микроскопических типов ядерного оружия, создание которых явно может разрушить всю создававшуюся десятилетиями систему международной ядерной безопасности.

При запрете любых исследований очень трудно сформулировать определения и правила проверки, особенно в случаях, когда (подобно тому, с чем мы сталкиваемся при рассмотрении проблем НТ) речь идет о крайне мелких объектах и использовании микроскопической техники. Так же как исследования в генетике, процедуры таких проверок требуют допуска в контролируемые лаборатории, проведения совместных работ и т.п., причем не только на стадии исследований, но и при испытаниях или изготовлении опытных образцов продукции. В связи с этим стоит вспомнить, например, богатый опыт длительных переговоров при выработке Протокола по биологическому оружию (когда речь шла, строго говря, не столько о самом оружии, сколько именно о запрете на испытания). В процессе обсуждения правительственные организации США решительно выступали против любых «инспекций на месте» в лабораториях, даже в тех случаях, когда другие страны, проводящие фармацевтические и генетические исследования, соглашались на проведение таких проверок[15].

Поэтому необходимо всегда учитывать политические обстоятельства и напоминать общественности и политическим лидерам о потенциальных выгодах от заключения соглашений о проверке. Противники введения ограничений обычно ссылаются на то, что инспекция на местах может легко стать средством промышленного шпионажа, однако все запреты на использование биологического оружия могут исчезнуть, если Конвенция не будет ратифицирована именно сейчас, когда методы НТ вдруг позволили осуществить быстрый прорыв во многих областях молекулярной биологии. В конечном итоге потенциальные опасности ситуации значительно превышают риск, связанный с введением строгих инспекций и проверок.

5.3.4. Формы сотрудничества с гражданским обществом

В контексте превентивного контроля вооружений можно указать два основных подхода к проблеме проведения НИОКР в гражданском секторе экономики. Во-первых, можно вообще отказаться от любых форм контроля развития НИОКР в этом секторе, пустив такие исследования на самотек. Разумеется, при этом следует как-то оговорить ситуации, когда какие-то конкретные разработки имеют чисто военный характер и явно не имеют коммерческой или гражданской направленности (например, такие проблемы могут возникать при выдаче разрешений на так называемые «мирные» ядерные взрывы). С другой стороны, нельзя также забывать, что гражданские и военные НИОКР очень часто настолько тесно связаны друг с другом, что их никак нельзя разделить формально. Разумеется, в этом случае накладываемые ограничения должны носить специфический характер и значительно отличаться от тех, которые применяются в отношении чисто военных НИОКР. В отношении некоторых конкретных изделий ограничения в военном и гражданском секторе могут практически совпадать, как это имеет место, например, в случае имплантантов немедицинского назначения, описываемых в разделе 6.4.3.

Строго говоря, на стадии исследований результаты очень многих работ являются существенно неоднозначными и могут быть отнесены к НИОКР двойного назначения (т.е. результаты исследований могут с одинаковым успехом применяться как в гражданских, так и в военных целях). Более строгие определения могут использоваться лишь на стадиях совершенствования или испытания опытных образцов. Кроме этого, во многих областях науки и техники одно и то же оборудование может с одинаковой эффективностью применяться как для гражданских, так и для военных целей. Например, одно и то же химическое лабораторное оборудование может быть использовано как для создания новых сельскохозяйственных инсектицидов, так и для разработки новых видов химического оружия. Еще сложнее обстоит дело с биохимическими и медицинскими исследованиями, при которых медики (иногда даже в терапевтических целях) нередко используют именно те токсины, применение которых в военных целях строго запрещено [см., например, Rossetto et al., 2004]. В некоторых случаях при изучении патогенности и вирулентности микроорганизмов исследователи сами намеренно модифицируют их генную структуру, создавая, в некотором смысле, из изучаемых объектов новые средства биологической войны [Nixdorff et al., 2003: Ch. 11]. Можно также напомнить, что в авиации, как правило, навигационное и иное техническое обеспечение гражданских и военных самолетов разрабатывается одними и теми же фирмами и организациями, в результате чего информация самым естественным образом передается из одного сектора в другой.

С учетом явного и естественного «перекрывания» гражданских и военных исследований и тесной связи между соответствующими производствами в текст упоминавшейся выше Конвенции о запрещении химического оружия (переговоры по которой сейчас прерваны) специально предлагался пункт, подразумевающий по требованию посещение биологических лабораторий и организаций [BWC AHG, 2001].

Поскольку НИОКР гражданского назначения могут служить «прикрытием» соответствующих опасных военных разработок, соглашения о проведении военных исследований обычно сопровождаются оговорками, включающими возможность проверки деятельности связанных с этим гражданских организаций. Для предотвращения обмана в выполнении ограничений, налагаемых на военные НИОКР, иногда можно рекомендовать вводить в тексты соглашений и последующие ограничения на гражданские НИОКР, которые часто могут быть значительно шире. Очень важным мотивом многих исследований часто выступает даже не столько потенциальная коммерческая ценность результатов разработок, сколько

так называемое «чисто научное любопытство», заставляющее ученых постоянно стремиться к расширению известной области научных и технологических знаний. Возможность применения новых научных достижений в военной технике должна сдерживаться строгими ограничениями, которые, кстати, гораздо легче вводить еще на стадии развития «мирных» разработок. Например, превентивные ограничения могут быть эффективно использованы в области создания микроспутников, если разрешения на запуск гражданских спутников будут лицензироваться лишь после серьезной проверки проектов, а запуски военных спутников будут строго контролироваться и проверяться.

Во всех случаях необходимо модифицировать любые технологии таким образом, чтобы преимущества их гражданского использования проявлялись и выглядели более привлекательными и выгодными, а преимущества от их военного применения – минимальными. В качестве наглядного примера разумной ориентации новой технологии на мирное использование и поддержание международной стабильности можно привести проект конверсии режима работы исследовательских ядерных реакторов. Предложение переводит работу реакторов с высокообогащенного урана на низкообогащенный, что не позволяет применять горючее реакторов для изготовления атомных бомб и тем самым способствует усилению режима нераспространения ядерного оружия вообще [см., например, Glaser, 2002, и приводимые в этой работе источники]. Еще одним примером подобной конверсии могут служить проекты запуска крупных спутников для преобразования солнечной энергии и ее передачи на Землю с использованием микроволновой техники (вместо лазерной). Дело в том, что длинноволное излучение испытывает дифракцию при прохождение через атмосферу, что и не позволит применять такие технологии для создания новых видов лучевого оружия остронаправленного действия[16]. В настоящее время нанотехнологии и МСТ обещают в будущем возможность создания опасных в военном отношении микросистем (размеры которых лежат в области меньше 0,2–0,5 м), но в эту же категорию, к сожалению, попадают также весьма перспективные микророботы медицинского назначения. Выходом из этой ситуации могло бы стать международное соглашение, позволяющее создавать такие роботы лишь с ограниченной подвижностью, дистанционным управлением и внешними источниками питания, что более подробно обсуждается ниже (раздел 6.4.5) и в работе [Altmann, 2001; Sections 7.2, 8.2].

Гражданское общество имеет и продолжает вырабатывать собственные представления об ограничении новых мирных технологий,

а также методов защиты населения, окружающей среды и социальных институтов. Национальные законы и правила контроля могут стать примером и применяться в дальнейшем в качестве прецедента при выработке системы международных соглашений, касающихся новейших технологий и контроля за их внедрением и использованием.

Следует учитывать также и дополнительный фактор влияния гражданских технологий на военную технику (специалисты по маркетингу называют это «эффектом привычности»). Проблема заключается в том, что широкое распространение любых коммерческих продуктов или изделий автоматически приводит к их значительному удешевлению и массовости использования, в результате чего такие продукты естественно и легко находят военные применения. Наиболее очевидным примером могут служить компьютеры, коммерческие образцы которых широко используются в вооруженных силах всех стран. Разумеется, было бы бессмысленным даже пытаться применить какие-либо превентивные ограничения на технологии, связанные с использованием и совершенствованием столь распространенных коммерческих продуктов.

ГЛАВА 6

ВОЗМОЖНОСТИ ПРЕВЕНТИВНОГО КОНТРОЛЯ НАД НАНОТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ВИДАМИ ОРУЖИЯ

В этой главе (впервые в известной нам литературе по этому вопросу) обсуждаются возможности организации превентивного контроля над нанотехнологическими вооружениями. В разделе 6.1 предлагаются критерии оценки потенциальных военных применений НТ, а в следующем разделе (6.2) эти критерии обобщаются на случай молекулярных НТ с использованием последнего термина в самом широком смысле. На основе проводимой суммарной оценки в разделе 6.3 перечисляются семь потенциальных приложений НТ, для которых превентивные ограничения представляются наиболее необходимыми. В разделе 6.4 обсуждаются возможные формулировки предлагаемых ограничений, а также проблемы проверки. В последнем разделе 6.5 рассматриваются некоторые самые общие вопросы, связанные с превентивным контролем вооружений (их можно назвать мета-аспектами проблемы контроля над вооружениями), которые несколько раз уже упоминались в предыдущих главах книги.

6.1. Применимость предложенных выше критериев к нанотехнологии

В этом разделе описанные ранее (глава 4) потенциальные военные приложения НТ рассматриваются с точки зрения применимости к ним введенного в разделе 5.2 набора критериев. В некоторых случаях эти критерии, строго говоря, и не являются специфическими по отношению к НТ (например, некоторые новые виды биологического ору-

жия вполне могут быть отнесены к объектам «традиционных» молекулярно-биологических исследований и НИОКР). Однако следует учитывать, что применение НТ позволяет значительно ускорить разработки в различных направлениях и повысить экономическую эффективность многих приложений.

Последовательность рассмотрения соответствует порядку введения упомянутых критериев и позволяет нагляднее выявить «проблемные» технологии. Стоит отметить, что эта последовательность отличается от использованной автором при анализе микросистемых технологий в более ранней работе [Altmann, 2001: Ch.6], где порядок устанавливался в соответствии с приложениями технологий. Для большей простоты и наглядности все рассматриваемые приложения НТ объединены ниже в сводную таблицу 6.1 (раздел 6.3), в которой потенциальная опасность перечисляемых технологий и воздействие новых технологий на общий уровень международной стабильности и военной безопасности оценивается по четырехбалльной шкале (значок «–» означает опасность; значок «0» – слабое воздействие; значок «+» – улучшение ситуации; значок «u» – неясное воздействие). Даже в рамках такой простой схемы оценка воздействия возможных приложений НТ оказывается очень приближенной и произвольной, не говоря уже о том, что в будущем неизбежно должны возникнуть новые возможности, произойти случайные открытия и т.п.

Во многих случаях новые технологии и их приложения подпадают под определения введенных критериев лишь косвенно, с учетом особых обстоятельств или оговорок. С одной стороны, это обусловлено реальной сложностью и неоднозначностью оцениваемой ситуации, так как, например, повышение эффективности работы процессоров может как повышать, так и понижать уровень военной стабильности, в зависимости от конкретной обстановки (действительно, владение более полной информацией может спровоцировать одну из сторон на агрессию или, наоборот, рассеять подозрительность относительно намерений противника). С другой стороны, расплывчатость оценок связана и с тем, что при выработке и введении мер превентивного контроля над вооружениями основное внимание уделяется прямым и достаточно очевидным последствиям военных действий. в то время как все отдаленные и косвенные последствия отнесены к критериям третьей группы. Напомним, что введенные критерии группы III относятся к потерям населения, ущербу окружающей среды и разрушению социальной инфраструктуры (т.е. к потерям, которые проявляются позднее, после окончания военных действий), а остальные

критерии связаны с предотвращением войны или военных приготовлений. К этому можно лишь добавить, что, строго говоря, само подразделение угроз и потерь на прямые и косвенные является достаточно условным.

В некоторых отраслях оценки могут значительно изменяться в зависимости от возможностей специфических приложений. Возможные применения новых технологий для удобства разбиты на следующие подгруппы:

- датчики (общего назначения, боевого применения, контрольно-инспекционные);
- новые типы обычного оружия (более удобное и легкое личное оружие из неметаллических материалов; миниатюрные системы навигации, управления и наведения на цель; бронебойные снаряды со сложным распределением взрывчатого заряда; малые ракеты);
- вооруженные и невооруженные автономные системы (возможность такого деления, естественно, связана с используемыми определениями, а в случаях, когда оснащение оружием может осуществляться легко и быстро, к вооруженным следует относить фактически все автономные системы);
- ядерное оружие; вспомогательные системы; средства компьютерного моделирования; сверхмалые ядерные заряды.

6.1.1. Критерии группы I

6.1.1.1. Предотвращение нарушений существующих или планируемых договоров по контролю над вооружениями и разоружению

Большинство основных и явных приложений НТ (от электроники до топлива и взрывчатки) слабо связаны с критериями, относящимися непосредственно к ограничению вооружений. Сказанное может быть отнесено и к некоторым неспецифическим приложениям: камуфляж, распределенные датчики общего или боевого назначения, вооружение и защита, общевойсковые армейские системы, автономные системы, вспомогательное оборудование ядерного оружия, химическое и биологическое оружие.

Использование распределенных датчиков для контроля выполнения условий международных соглашений, безусловно, следует отнести к положительным воздействием, поскольку они позволяют го-

раздо точнее отслеживать наличие химического и биологического оружия или воздействия таких агентов на организм человека (например, при контроле условий работы технического персонала). Дальнейшее развитие в этом направлении (т.е. появление более миниатюрных, дешевых и разнообразных датчиков) позволит широко использовать их и для контроля над запуском космических объектов и спутников, авиаперевозками, перемещениями военной техники и т.д. Датчики могут использоваться также для проверки выполнения различных соглашений по малым системам. С другой стороны, такие контролирующие датчики будет очень сложно отделить от датчиков боевого применения, вследствие чего, возможно, сторонам следует договариваться об их размещении и использовании только на стационарных позициях.

Новые виды обычных типов оружия могут оказать негативное влияние на общий уровень безопасности в тех случаях, когда новые модификации позволяют как-то «обмануть» партнеров, т.е. обойти условия Договора по обычным вооружениям в Европе или другие будущие региональные соглашения по контролю над обычными вооружениями. Такой обман может быть связан, например, с тем, что новые образцы будут содержать меньше металла (или даже не содержать его совсем), вследствие чего оговоренный соглашениями контроль стандартными методами (индуктивные датчики, рентгеновские установки и т.п.) значительно осложнится. Эти же соображения применимы к производству малых ракет. Появление вооруженных автономных систем может «подорвать» не только упоминавшийся выше Договор по обычным вооружениям, но и Конвенцию по противопехотным минам, так как из-за подвижности и некоторых других характеристик такие роботы не будут считаться минами, хотя и будут выполнять фактически те же функции[1].

Использование малых и/или более автономных спутников для борьбы с другими космическими объектами может сорвать переговоры по общему соглашению о запрете использования оружия в космосе, заключения которого международное сообщество и общественность добиваются десятилетиями.

Аналогично дальнейшее развитие методов компьютерного моделирования ядерных взрывов может привести к проектированию новых типов боеголовок, что подорвет значимость уже существующего Договора о полном запрете ядерных испытаний. Используя все более сложные модели и надежные данные, полученные ранее при реальных испытаниях, проектировщики смогут фактически создавать и

вводить новые системы ядерного оружия, не проводя настоящих взрывов. Формально такие разработки не нарушают никаких условий существующих соглашений, но они очевидным образом нарушают дух Договора о нераспространении ядерного оружия, заключение которого в свое время способствовало развитию атмосферы доверия и даже создавало возможность полного ядерного разоружения. Столь же тяжелые последствия для ядерного разоружения будет иметь появление миниатюрных ядерных зарядов. Очевидно, что развитие новых средств химической и биологической войны очень быстро приведет к нарушению Конвенций по запрету химического и биологического оружия (со всеми вытекающими из этого последствиями).

6.1.1.2. Предотвращение нарушений существующих норм гуманности и контроль их соблюдения

Внедрение многих общих и некоторых специфических военных приложений (форма и камуфляж, все типы распределенных датчиков, невооруженные автономные системы, броневая защита, армейские системы, мини- и микророботы без вооружения, космические системы, моделирование ядерных взрывов, защита от химического и биологического оружия) незначительно влияет на критерии, относящиеся к соблюдению законов войны и гуманного отношения к населению. С другой стороны, применение некоторых новых типов оружия обычного типа может приводить к нарушению общего принципа гуманитарного права, в соответствии с которым военные действия не должны причинять людям излишние или бессмысленные страдания. Под этим подразумевается ситуация, когда, например, созданные на основе НТ новые метательные средства будут поражать живую силу противника подобно давно запрещенным пулям «дум-дум», имеющим смещенный центр тяжести. Поэтому все государства, взявшие на себя обязательства соблюдать нормы гуманитарного права при использовании новых типов оружия, средств и методов ведения войны, оговоренные в статье 36 Дополнительного протокола I к Женевской конвенции 1949 года [ICRC, 1977], должны обратить на это обстоятельство особое внимание. В некоторых спорных случаях, для решения возникающих проблем (в частности, при различных определениях и толкованиях некоторых терминов) стороны могут привлекать для арбитража какие-либо международные организации[2]. С другой стороны, создаваемые на основе НТ новые типы вооружения должны быть гораздо более точными (и следовательно, могут обладать меньшей раз-

рушающей мощью), вследствие чего можно надеяться, что они окажутся, вообще говоря, более «гуманными», прежде всего из-за снижения побочных воздействий и разрушений.

Очень тяжелые ситуации могут возникнуть при сбоях системы манипуляции человеческим организмом. Например, управляющие сигналы (генерируемые имплантированными устройствами, а также химическими или электрическими стимуляторами) могут повысить уровень агрессивности военнослужащих до такой степени, что последние перестанут контролировать свое поведение и начнут представлять угрозу для жизни и безопасности гражданских лиц, раненых и пленных солдат противника и т.д.

Очень сложные правовые проблемы возникают в связи возможным созданием и применением в боевых условиях автономных устройств (как вооруженных, так и предназначенных лишь для обозначения целей), а также мини/микроробототов. Юридически проблема сводится к тому, что в зоне любого военного конфликта очень трудно определить реальный статус участников, т.е. провести четкое разграничение военнослужащих, гражданских лиц и так называемых выведенных из строя (сдавшихся в плен, раненых, находящихся в бессознательном состоянии, больных и т.п.). Столь же сложной является задача точного выделения узаконенных военных целей, которую смогут решать лишь автоматы с очень высоким уровнем развития интеллекта (близким к уровню человека). Разработка столь высокоразвитых систем искусственного интеллекта займет не менее десяти лет, а до этого времени любое применение автономных систем для атаки (или даже для выбора целей атаки) будет являться нарушением законов гуманности при проведении боевых действий. Проблема еще больше усложнится при появлении большого числа боевых устройств или мини/микроробототов. Разумным выходом на это переходное десятилетие представляется обязательное включение человека в цепь управления и наделение его правом принятия окончательного решения (по крайней мере, относительно выбора цели и времени проведения боевых действий), т.е. использование дистанционного управления и ограничение автономности системы при выполнении некоторых операций. Конечно, такое решение само требует технической разработки. Легко представить себе ситуацию, когда военные обстоятельства станут диктовать необходимость принятия быстрых решений, в результате чего из цепи управления придется выключить именно «человеческое звено», особенно в тех случаях, когда противник также обладает развитой и быстродействующей системой автономных устройств. Кроме того, при дальнейшем

развитии описываемых систем определяющим фактором (в том числе и экономическим) может оказаться недостаток людей-операторов, обязанных принимать решения в сложных ситуациях, связанных с поведением очень большого числа автоматических устройств. И наконец, нельзя забывать и простое соображение, что с развитием и ростом числа автономных систем неизбежно повышается и вероятность случайного нарушения связи и дистанционного управления этими системами, т.е. для некоторых ситуаций необходимо предусмотреть и возможность блокирования боевых действий, нарушающих гуманитарные права. Конечно, такая блокировка может осуществляться лишь при работе с относительно небольшими количествами вооруженных устройств и носителей, и ее нельзя реализовывать при управлении описанными выше «роями» боевых мини/микроробототов.

Миниатюрные ядерные боезаряды, возможность создания которых упоминалась выше, также могут стать причиной излишних разрушений и ненужных страданий мирного населения (даже с учетом того, что мощность таких зарядов и количество выпадающих при их взрыве радиоактивных осадков значительно ниже, чем у крупных образцов существующего ядерного оружия). Дополнительные нарушения гуманных методов ведения военных действий, естественно, должны возникать и при использовании новых видов химического и биологического оружия.

6.1.1.3. Предотвращение использования оружия массового уничтожения

Выше уже отмечалось, что для изготовления оружия массового уничтожения могут быть непосредственно использованы лишь некоторые из технологий, которые обычно ассоциируются с НТ (например, относящиеся к производству средств доставки, роботов-носителей и т.д.). НТ пока не связаны с принципиально важными процессами изготовления такого оружия и могут широко применяться лишь в производстве вспомогательных систем, не меняющих основных характеристик ядерного оружия. Например, использование НТ позволяет несколько увеличить отношение (мощность/масса) для атомного оружия, повысить точность систем наведения, управления и т.п. С другой стороны, конечно, создаваемые с помощью НТ устройства дают возможность уже сейчас значительно повысить уровень безопасности и охраны существующих ядерных объектов.

В разделе 4.1.19.2 особо обсуждался вопрос о том, что развитие вычислительной техники позволяет достаточно эффективно осуще-

ствлять моделирование ядерных взрывов на компьютерах и создавать на этой основе новые типы боеголовок. Проектирование и создание обсуждаемых выше гипотетических миниатюрных ядерных зарядов, с одной стороны, конечно, играют очень негативную роль (размывая границы между обычными и ядерными вооружениями), однако с другой – средствами массового уничтожения могут считаться лишь те из них, чей тротиловый эквивалент превышает 10 тонн.

Новые виды биологического и химического оружия могут быть отнесены к средствам массового поражения лишь в случае их применения против очень большого числа людей, животных или растений. Возможно, дальнейшее развитие НТ и биомедицинских методов позволит придать этим видам оружия избирательный характер (в идеале избирательность может быть доведена до индивидуального поражения конкретного человека!), однако проводимые в настоящее время НИОКР относятся лишь к получению новых агентов и повышению их поражающего действия. Строго говоря, химическое оружие при масштабном использовании (против больших групп населения, на больших территориях и при длительном действии) также должно быть отнесено к средствам массового поражения, поскольку оно может приводить к разрушению социальной инфраструктуры, систем снабжения и массовой гибели населения.

Положительное воздействие приложений НТ в сфере уничтожения средств массового поражения (или хотя бы снижения риска применения таких средств) в настоящее время можно усмотреть лишь в разработке новых датчиков (для контроля над соблюдением уже существующих договоренностей), а также в использовании новых материалов для защиты от воздействия химических и биологических веществ (или их нейтрализации).

6.1.2. Критерии группы II

6.1.2.1. Предотвращение дестабилизации военной обстановки

В контексте обсуждения под стабильностью автор подразумевает ситуацию, когда несколько (два или большее число) государств-партнеров рассматривают себя в качестве потенциальных противников в будущем вооруженном конфликте, вследствие чего подготовка к военным действиям становится постоянной компонентой их взаимоотношений (даже в тех случаях, когда это обстоятельство не декларируется). Общая военная стабильность достигается за счет того, что ни одна из сторон не уверена в своей победе при предполагаемом военном конфликте. При ухудшении отношений в обычных условиях эта ситуация выливается в кратковременный кризис стабильности, когда стороны (в простейшем случае) начинают готовиться к неожиданной атаке, в частности для ослабления вооруженных сил противника и его возможностей к обороне. Сложнее обстоит дело со стратегией ядерной войны, при которой основной вопрос сводится к способности противника сохранить силы для ответного удара, так как возникает парадоксальная ситуация, при которой страх подвергнуться неожиданному нападению провоцирует участников конфликта на нанесение упреждающего удара. В этих случаях отношения даже между двумя странами (не говоря уже о большем числе участников конфликта) быстро становятся крайне неустойчивыми[3]. Особая опасность заключается в возможности стремительной эскалации конфликта с использованием все более мощных средств, вплоть до оружия массового поражения.

Характерные особенности НТ не оказывают прямого воздействия на военную стабильность, но многие их общие приложения косвенным образом серьезно подрывают ее (например, более мощные компьютеры позволяют лучше спланировать атакующие операции и повысить шансы на стратегическую победу при нанесении превентивного удара). Если в будущем исследователям действительно удастся создать системы искусственного интеллекта и использовать их для планирования военных операций, то это, вероятно, только повысит возможность принятия автоматических решений, быстро приводящих к эскалации конфликта. Такие соображения заставляют серьезнее относиться к учету человеческого фактора и требуют, чтобы ситуации (особенно в периоды нарастания конфликтов) тщательно контролировали именно люди, а не автоматические устройства. Некоторое дестабилизирующее воздействие на общее состояние дел могут оказывать новые виды топлив и систем запуска, позволяющие снизить время полета до цели и сокращающие тем самым время принятия решений.

Применение более специализированных приложений НТ в военной технике (форма и камуфляж, распределенные датчики общего назначения, снаряды/бронезащита, обшеармейские системы, автономные устройства и т.п.) тоже не оказывает прямого дестабилизирующего воздействия на военное равновесие между державами. Датчики на поле боя лишь повышают эффективность и точность

стрельбы, а использование таких же датчиков для контроля даже, наоборот, способствует стабилизации обстановки, облегчая контроль над вооружениями сторон и т.п. Некоторое негативное воздействие на стабильность международной обстановки может иметь принятие на вооружение новых типов обычного оружия, обладающих большей скоростью и точностью. Например, ситуация может значительно осложниться, если в результате такого перевооружения одна из сторон получит возможность нанести превентивный удар (обычными средствами) по носителям ядерного оружия или командным пунктам противника [см. Miasnikov, 2000]. Манипуляции с человеческим организмом (прежде всего использование имплантантов, повышающих скорость физиологической реакции человека и подключающих его мозг непосредственно к компьютеру) также могут быть отнесены к дестабилизирующим факторам, но их общая роль является несущественной[4].

Значительно опаснее может стать применение быстродействующих и вооруженных автономных боевых систем, особенно в тех случаях, когда они будут развернуты в непосредственной близости к аналогичным средствам противника. Автоматы могут ошибочно воспринять какие-то действия противника в качестве начала ожидаемой атаки и немедленно начать ответные операции (эти же соображения относятся и к средствам предупреждения). Еще большую дестабилизацию обстановки могут вызывать действия мини/микроботов, независимо от того, вооружены они или нет. Вполне разумным (с точки зрения военных) может стать тайное внедрение таких роботов в расположение войск противника еще до начала и приведение их в боевую готовность (или готовности к наведению на цель средств атаки) при нарастании конфликта. Действительно, неожиданный удар с использованием таких роботов (например, по командным, контролирующим и коммуникационным системам противника) может значительно снизить обороноспособность противника и повысить шансы на победу. Столь же заманчивой для готовящихся к военному конфликту армий должна выглядеть идея о засылке (в требуемый момент или даже заранее) таких роботов в тыл противника для разведки вражеской территории. Понятно, что в условиях нарастания напряженности и подозрительности конфликтующим сторонам будет очень трудно отличить разведывательные роботы от боевых, вследствие чего наличие в зоне конфликта любых автономных боевых или разведывательных устройств (мини/микроботов) будет приводить к еще большей неопределенности ситуации, повышать нервозность высшего руководства и способствовать дальнейшей эскалации военных приготовлений (переводу военного оборудования на более высокую степень готовности и т.п.). Последствия таких циклов незапланированных и неконтролируемых действий сторон могут быть ужасными.

«Рои» (или «стаи») космических микроспутников могут управлять процессами наведения на разные цели (на Земле и в космосе) и нарушать коммуникационные сети противники, которые также являются необходимым элементом нанесения внезапного удара и т.д. Еще более дестабилизирующими могут оказаться атаки микроспутников на космические объекты противника (военные действия могут сводиться в этом случае к прямому столкновению на достаточно высокой скорости или к другим действиям, препятствующим нормальному функционированию вражеского спутника), поскольку атакуемые объекты вполне могут оказаться важным элементом обороны противника (разведывательные действия, системы раннего предупреждения, связи и т.п.), являющимся важным звеном в управлении ракетно-ядерными войсками. Естественно, при любых военных действиях такого рода могут пострадать и гражданские объекты (например, коммуникационные спутники), имеющее большое значение для нормального функционирования социально-экономической системы. Возможности неожиданной атаки в космосе возрастают не только с простым увеличением числа микроспутников, но и с параметрами их орбит, причем особое значение (с соответствующим повышением степени риска) приобретут запуски микроспутников на геостационарную орбиту (~ 35 800 километров). По-видимому, в близком будущем будут проведены и испытания возможностей организации столкновений космических аппаратов на орбите, результаты которых можно будет оценить как по падению обломков, так и по изменениям соответствующих траекторий.

Другие методы боевых действий в космосе (захват и последующая переналадка или иная манипуляция действиями вражеского спутника) могут быть испытаны просто под видом экспериментов по ремонту и обслуживанию аппаратов на орбите. В частности, захват вражеского космического аппарата (или, образно говоря, «стыковка» с ним) может осуществляться «стаей» или «роем» микроспутников, которые предварительно могут долго «преследовать» цель и по сигналу «окружать» ее. Оборудование обычных спутников в настоящее время даже не включает в себя датчики, регистрирующие наличие других устройств в ближайшем окружении, но в будущем техника такого типа наверняка станет привычной частью аппаратуры и позволит регистрировать несанкционированное сближение с другими объектами на заданное

расстояние (например, около 1 километра). В дальнейшем, естественно, будут разработаны и соответствующие средства защиты.

«Стаи» микроскопических спутников, способных значительно дестабилизировать военную ситуацию в космосе, вовсе не обязательно должны быть запущены заранее, поскольку из-за малых размеров их большое число может быть быстро выведено на орбиту малыми ракетами. При этом малые ракеты могут базироваться не в крупных ракетных центрах, а непосредственно на небольших носителях, включая мобильные (корабли, самолеты). Время развертывания таких систем на обычных орбитах (с радиусом от 200 до 30 000 километров) составит лишь несколько минут, а на более важной, геостационарной орбите – несколько часов, что оставляет противнику очень мало времени для выработки ответных действий.

Выше уже указывалось, что в области разработок ядерного оружия основные применения НТ пока ограничиваются разнообразными вспомогательными системами и компьютерным моделированием взрывов. Эти факторы не играют существенной роли в дестабилизации глобального соотношения и незначительно изменяют общую ситуацию с ядерным оружием. Однако упоминавшаяся выше возможность создания миниатюрных ядерных боеголовок может существенно нарушить сложившуюся стабильность международных отношений и повысить вероятность использования ядерного оружия в будущем. Опасность связана в первую очередь с тем, что малая мощность рассматриваемых зарядов «размывает» установившуюся границу между обычным и ядерным оружием, ломает психологический барьер отношения к средствам массового поражения. Очевидно, что любое практическое применение малых ядерных зарядов может легко и быстро привести к эскалации действий, которая закончится использованием гораздо более мощных зарядов и устройств.

Приведенные простые соображения могут быть с полным правом отнесены и ко всем планам создания новых типов химического и биологического оружия. Авторы некоторых таких планов полагают, что более избирательное и «контролируемое» воздействие новых видов такого оружия (предполагается, что специфичность действия можно довести до конкретных групп населения) позволит избежать ненужных жертв и обеспечить безопасность собственного населения и вооруженного персонала. Такие возможности (и даже их обсуждение) усыпляют бдительность, создают иллюзии безопасности и фактически подрывают общую стабильность международных отношений.

Примерно по таким же причинам довольно сложно оценивать с какой-либо долей объективности общее воздействие на международную стабильность любых разработок, связанных с материалами, защищающими от химических и биологических агентов или нейтрализующими такие агенты. С одной стороны, реальные или воображаемые успехи в изготовлении таких материалов внушают ложное чувство безопасности, в результате чего страна, уверенная в своем превосходстве (в этой области) и чувствующая себя более защищенной, может с большей легкостью отнестись к развязыванию военных действий с использованием этих опасных средств. С другой стороны, реальная оценка опасности в таких ситуациях всегда является весьма ненадежной, так как основывается на малодоступных и недостаточно достоверных данных о наличии таких агентов у противника и эффективности предлагаемых защитных средств.

Разумеется, внедрение одной из стран-соперниц любой новой военной технологии (или даже начало каких-либо НИОКР в новом направлении) почти всегда вызывает ответные действия у партнеров. Стоит еще раз отметить, что такое развитие событий (как уже указывалось в разделе 5.1.4) может запустить механизм гонки вооружений даже между странами, имеющими союзные отношения.

Разнообразие общих и специфических военных приложений НТ создает массу возможностей и мотивов для возникновения гонки вооружений, поскольку многие из этих приложений почти всегда обещают военно-политическому руководству быстрое и значительное усиление уже существующих боевых средств или даже создание совершенно новых, обладающих неожиданными и высокоэффективными характеристиками. Ведущим мотивом для начала военных разработок почти всегда становится представление о слабости собственных вооруженных сил и ограниченности их боевых возможностей. Обычно исходной целью новых приложений выступают чисто оборонные мероприятия (типа развертывания медицинских средств индивидуальной защиты от химического и биологического оружия, развитие новых средств нейтрализации поражающих агентов и т.п.). Легко заметить, что даже указанные, сугубо «оборонительные» цели требуют не только разработки новых датчиков и связанного с ними оборудования, но и развития методов логистики, контроля состояния окружающей среды и безопасности в подлежащих защите зонах и на объектах (включая ядерные). Строго говоря, любые действия в этом направлении способствуют развитию опасной техники и нарастанию общей напряженности. Единственным применением новой техники,

безусловно способствующим сдерживанию гонки вооружений и поддержанию мира, можно считать усовершенствование и использование датчиков для проверки выполнения условий, налагаемых различными соглашениями об ограничении вооружений.

6.1.2.2. Предотвращение распространения ядерного оружия

Одной из важнейших проблем, связанных с контролем над ядерным оружием является предотвращение его распространения, относительно которого уже выработана некоторая, довольно простая терминология. Горизонтальным распространением называют простое увеличение числа стран, обладающих таких оружием, а вертикальным – развитие методов их доставки и применения, а также увеличение разнообразия типов самого ядерного оружия. С другой стороны, рациональнее было бы говорить об ограничении распространения, исходя из более конкретных понятий, относящихся к данному виду оружия. Гораздо удобнее для обсуждения рассматривать просто разные категории объектов и понятий, связанных с ядерным оружием. В качестве таких категорий можно исследовать готовые системы и изделия (ядерные бомбы и их компоненты), технологии (урановые реакторы для получения плутония или ультрацентрифуги для обогащения урана), вещества (в частности, плутоний и обогащенный уран), а также собственно знания, т.е. техническую информацию, связанную непосредственно с конкретными процессами (например, с изготовлением детонационных линз, необходимых для сферически-симметричной имплозии плутониевого заряда). Под «диффузным» или ползучим распространением оружия и информации подразумевается реально существующий (но трудно поддающийся точному определению) процесс передачи разнообразных и разрозненных знаний в данной области, возникающий при реализации международных гражданских проектов, обучении иностранных студентов, научных контактах разного рода и т.п. Собственно говоря, такие диффузные процессы распространения информации являются характерными практически для всех технологий, имеющих военное значение. Очевидным примером может служить ракетная техника (имеющая непосредственное отношение к оружию массового уничтожения), а с некоторыми оговорками – и вся вычислительная техника в целом[5].

Учитывая потенциально важные военные приложения НТ, уже сейчас следует заботиться об ограничении горизонтального и вертикального распространения новых систем, технологий, веществ и знаний, относящихся ко всем «опасным» разработкам в этой области. В случае НТ распространение или передача готовых систем значительно облегчается ничтожными размерами объектов, а также многочисленными коммерческими и научными контактами, обусловленными ожиданием широкого использования НТ в гражданском секторе. В соответствии с критериями гонки вооружений (раздел 6.1.2.2) подавляющее большинство приложений должно быть отнесено к потенциально опасным и лишь некоторые из них могут считаться полезными и ценными для поддержания режимов нераспространения и международной стабильности. Такие технологии относятся в основном к выполнению вспомогательных оборонных задач, особенно в области общеармейских систем медицинского обслуживания персонала. Особо важную положительную роль будут играть в дальнейшем системы распределенных датчиков для контроля за оборудованием и его текущим ремонтом, отслеживания состояния окружающей среды, безопасности в заданных зонах и т.п. Кроме того, новые датчики могут повысить безопасность хранения ядерного оружия, а также обеспечить более эффективную защиту от химического и биологического оружия. Стоит особо подчеркнуть, что датчики будут способствовать режиму нераспространения, так как позволят организовать более строгий контроль выполнения условий соглашений и договоров.

6.1.3. Критерии группы III

6.1.3.1. Защита гражданского населения

Этот критерий применим главным образом к условиям мирного времени и относится к оценкам негативного воздействия (новых) военных технологий и связанных с ним веществ на гражданское население. Его не следует путать с критерием, касающимся проведения военных действий. Известно, что военные конфликты, которые (как бы по определению) являются опасными для участвующих в них военнослужащих, одновременно всегда приводят к опасностям и лишениям для мирного населения, но этот аспект относится к критерию, связанному с нарушением правил ведения военных действий, который рассматривался выше, в подразделе 6.1.1.2[6].

Большинство военных приложений НТ не несет прямой угрозы гражданскому населению в мирное время, хотя, конечно, создает ряд новых косвенных опасностей. Например, развитие и внедрение этих

технологий неизбежно должно приводить к загрязнению среды наночастицами, их проникновению в организмы людей и соответствующему воздействию на клеточные процессы. Из других наноматериалов стоит отметить потенциальную опасность новых типов взрывчатых веществ, ракетных топлив и т.п., что еще раз диктует необходимость тщательного изучения возможного вредного воздействия любых новых технологий и связанных с ними веществ. Разумеется, необходимо также особо учитывать специфическую опасность попадания новейших типов обычного оружия (это относится в первую очередь к стрелковому оружию из деталей, не содержащих металл, или просто к миниатюрным ракетам и т.п.) в руки криминальных элементов или террористов.

Снабженные оружием автономные системы будут использоваться, безусловно, лишь при военных конфликтах, вследствие чего в мирное время они должны полностью управляться человеком-оператором, что требует внесения соответствующих поправок и ограничений как в законодательство отдельных стран, так и в положения международного права. Однако в некоторых обстоятельствах такие юридические ограничения и правила очень плохо определены (например, при военных операциях на оккупированной территории в военное время), в результате чего гражданское население может подвергнуться неоправданной опасности и страданиям в результате действий автономных систем. Кроме того, нельзя забывать, что любые автономные устройства (как вооруженные, так и не снабженные оружием) в мирное время являются источником повышенной опасности и могут стать причиной различных аварий, дорожных происшествий и т.п. Поэтому необходимо уже сейчас вводить правила, позволяющие испытывать или использовать такие устройства лишь на военных базах или заранее оговоренных территориях, причем с предварительным уведомлением. В более отдаленной перспективе автономные системы, как предполагается, станут распространенными и будут использоваться для регулярного дежурства и патрулирования морских и воздушных границ государств и т.п. Естественно, при этом придется законодательно учитывать и возможность их столкновений с другими транспортными средствами, особенно при серьезных авариях и происшествиях с тяжелыми последствиями (например, при гибели людей).

Использование в качестве оружия мини- и микророботов (а также, естественно, новых типов химического и биологического оружия) связано с опасной возможностью их попадания в руки криминальных элементов или террористов[7]. Как уже отмечалось выше, новые виды оружия (в частности, микророботы) будут обладать очень высокой избирательностью, вследствие чего их можно применять (по крайней мере, в принципе) для нападения на небольшие группы населения, вплоть до целенаправленной атаки на отдельного, конкретного человека. Фантастический сценарий такой военной операции может выглядеть следующим образом: минироботы проникают в закрытое помещение, разыскивают там «намеченного» человека и убивают его одним из многих возможных методов (инъекция яда во время сна, выстрел микроснаряда или даже взрыв вблизи тела жертвы). Новые и более сложные химические и биологические средства могут использоваться как против выделенных категорий населения, так и в качестве оружия массового поражения (например, воздействуя на питьевую воду или продукты питания). В отличие от многих видов оружия и автономных боевых устройств (которые могут быть достаточно четко идентифицированы в качестве боевых средств и, соответственно, могут быть как-то ограничены соглашениями), к описанным выше физико-химическим структурам часто трудно выработать запрещающие их применение критерии. Кроме того, они представляют особую опасность в случае их утраты (случайной или умышленной) из готовой продукции или мест хранения.

Миниатюрные ядерные заряды (если, конечно, они когда-нибудь будут созданы реально) следует охранять не менее тщательно, чем крупногабаритные ядерные бомбы, хотя бы во избежание попадания такого опасного оружия в руки уголовных или террористических организаций, что привело бы к непредсказуемым последствиям[8].

Манипуляции с человеческим организмом и использование имплантантов, вследствие плохо изученных побочных эффектов, могут оказаться опасными для организма военнослужащих даже в мирное время. Еще более важное значение могут иметь косвенные последствия различных проектов использования таких разработок в различных сферах обычной жизни общества. Речь идет об общественной опасности бездумного и слабо ограниченного законом внедрения результатов военных НИОКР в практическую жизнь современного общества (см. раздел 6.1.3.3). Весьма вероятно, что при этом проявятся побочные отрицательные эффекты, действие которых будет напоминать (или даже превосходить!) воздействие наркотических веществ.

К возможному положительному влиянию рассматриваемых разработок на упрочение международного мира можно отнести, по-видимому, только использование датчиков различных типов. Они мо-

гут принести очевидную пользу как для проверки выполнения условий международных соглашений, так и для эффективного контроля за состоянием окружающей среды, уровнем содержания вредных и опасных веществ и т.п. Другим примером положительного воздействия приложений НТ могут стать вещества, разрабатываемые для прямой защиты от боевых химических и бактериологических агентов, которые уже сейчас рассматриваются в качестве возможной защиты населения от атак террористов в мирное время. В этой связи стоит отметить, что датчики и системы защиты гражданского населения от опасных веществ (например, для их нейтрализации) уже давно следует создавать по специальным проектам, а не просто пользоваться «отходами» соответствующих НИОКР военного назначения.

6.1.3.2. Предотвращение опасностей для окружающей среды и общественного развития

Как и в предыдущем разделе, критерии такого типа могут быть оценены и отнесены только по отношению к мирному времени, поскольку в условиях реальных действий нанесение ущерба окружающей среде или ее разрушение становятся неизбежными. Стоит отметить, что Конвенция о сохранении окружающей среды 1977 года [Environmental Modification Convention, ENMOD, 1977] запрещает использование военных и любых других враждебных действий, оказывающих длительное, разностороннее и тяжелое воздействие на окружающую среду. Более того, Дополнительный протокол I к Женевской конвенции специально оговаривает (Additional Protocol I, статья 35), что участникам военного конфликта «запрещено применять методы и средства ведения войны, которые намеренно или предположительно смогут наносить длительные, разносторонние и тяжелые повреждения естественной среде обитания» [ICRC, 1977]. Создавшаяся ситуация требует серьезного обсуждения разрешенных методов ведения военных действий.

Как и в предыдущем разделе, рассматриваемый критерий не является существенным, поскольку большинство военных приложений НТ не представляют прямой опасности для окружающей среды. Подобно любым новым материалам, ракетным топливам или взрывчатым веществам, продукты и изделия НТ могут, конечно, наносить вред жизнедеятельности растений и животных, вследствие чего все они должны проходить тщательное исследование на экологическую безопасность. В некоторых случаях легко заметить очевидное полезное

воздействие от применения новых технологий: более эффективные источники энергии, более экономичные и легкие транспортные средства и т.п. позволяют снизить общее энергопотребление, снижают нагрузку на окружающую среду и способствуют более устойчивому социальному развитию. С другой стороны, конечно, такая экономия может привести одновременно лишь к дальнейшему увеличению числа военных транспортных средств, роботов, систем оружия и т.д.

Количественные параметры не являются в данном случае убедительными. Даже самые миниатюрные ядерные заряды все же будут являться источником радиоактивного загрязнения окружающей среды. Понятно, что некоторые новые виды химического и биологического оружия будут использоваться лишь в очень малых количествах (вследствие своей высокой «селективности») и могут считаться почти безопасными, однако, с другой стороны, эти же вещества или их производные могут неожиданно оказаться вредными для многих распространенных пород растений. В этих ситуациях просчитать ущерб общей экологической обстановке очень трудно, но он представляется почти неизбежным.

И наконец, как и в предыдущих разделах, можно указать на позитивную возможность использования распределенных датчиков для контроля над выполнением соглашений о разоружении, мониторинга содержания опасных веществ в окружающей среде и т.п. Таким образом, в качестве общего вывода можно отметить, что новые виды химического и биологического оружия представляют собой опасность для окружающей среды, а основанные на этом новые варианты защиты или нейтрализации, наоборот, могут иметь положительное значения для задач обеспечения среды обитания и устойчивости социального развития.

6.1.3.3. Предотвращение опасностей для развития социально-политической системы

Рассматриваемый в этом разделе критерий относится главным образом к косвенному воздействию военных приложений НТ на социально-политическую систему в мирное время, т.е. к проблемам внутреннего развития общества. Этот критерий (возможно, в силу своей общности) значительно важнее рассматриваемых в предыдущем разделе факторов прямого воздействия. Кстати, критерий общесоциального воздействия был впервые использован при разработке объединенных германских проектов превентивного контроля над вооружениями,

причем его введение было связано именно с проблемами развития новейших технологий, имеющих общий характер, например микросистемной техники и т.п. [Altmann, 2001: Ch.6; Neuneck and Molling, 2001].

Большинство специфических военных приложений НТ оказывает лишь слабое воздействие на социальную жизнь, точно так же как не оказывает воздействия чисто военное использование других технологий самого общего назначения (компьютеры, системы связи, программного обеспечения и т.п.). Возможно, в будущем, когда некоторые из новейших технологий приобретут массовый характер, они станут представлять реальную угрозу свободе передвижения граждан и их прайвеси (право на защищенность личной жизни), поскольку использование некоторых достижений науки и техники позволит создать систему тотального контроля и слежения за населением целых стран[9]. Например, не исключено, что будущие сверхмощные компьютеры (объединенные системой искусственного интеллекта) позволят создать информационные базы данных, содержащих полные сведения обо всех гражданах, фирмах, общественных организациях или их связях.

Многие другие, более специфические приложения НТ в военной области (форма и камуфляж, новые средства бронезащиты, индивидуальные армейские системы, вооруженные и безоружные автоматические системы, микроспутники и средства их защиты, вычислительная техника и ее использования для моделирования ядерных взрывов) также не представляют явной опасности для общественной жизни. Разумеется, сказанное имеет смысл лишь при условии, что использование этих средств будет осуществляться под строгим контролем общества и правительства.

Сеть распределенных датчиков общего назначения (созданных, например, для контроля и технического обслуживания оборудования, решения логистических задач, наблюдения за определенными объектами или зонами) может стать базой для формирования упомянутой выше системы тотальной слежки и контроля. Вероятность такого злоупотребления информационно-контрольными системами может значительно возрасти после разработки и развертывания сети датчиков контроля боевой обстановки, поскольку такие устройства (в силу своей специфики) еще в процессе проектирования будут наделены особыми характеристиками (миниатюрностью, способностью к быстрому развертыванию, маскировке, поиску цели и т.п.). С помощью устройств такого типа спецслужбы могут очень легко осуществлять слежение за отдельным человеком или транспортным средством. Возможно, сначала такое слежение будет организовываться только правительственными органами (и на законных основаниях), однако по мере распространения датчиков и удешевления их производства такие устройства станут доступны частным лицам и криминальным элементам, в результате чего общество будет все чаще сталкиваться с проблемой частного, несанкционированного и просто преступного слежения или шпионажа за отдельными гражданами или организациями. Государство может достаточно эффективно контролировать использование стационарных (т.е. фиксированных) датчиков, поэтому основная опасность (в плане организации преступного слежения, подслушивания и других нарушений прав человека) будет исходить от мобильных мини- и микророботов.

Миниатюрные датчики слежения смогут скрытно проникать (например, даже через щель под дверью или приоткрытую форточку) в учреждения и частные владения, а микроботы смогут осуществлять кражи, уничтожать и портить имущество и т.д. Описанные выше крошечные роботы, действующие подобно насекомым (а возможно, даже и изготовленные в форме насекомых), смогут убивать людей во время сна, в заданный срок или в заданном месте, причем расследование таких преступлений, естественно, окажется почти невозможным. Разумеется, такое развитие событий вызовет разработку соответствующих контрмер (прежде всего это касается средств защиты от проникновения и детекторов, обнаруживающих подвижные микроботы), однако сам факт явной возможности нарушения нормальной жизни граждан и их права на прайвеси станет крайне неприятным общественным явлением. Вообще говоря, такое развитие событий окажет весьма негативное воздействие на общие нормы демократии и свободы.

Еще одна угроза общественно-социальным нормам и безопасности граждан связана с попаданием в руки преступников или террористов модифицированных типов обычного оружия, например, таких, которые трудно обнаружить обычными детекторами, рентгеновскими аппаратами и металлоискателями, результатом чего может стать значительное ужесточение и удорожание систем контроля и проверки.

Использование имплантантов и методов манипуляции организмом человека представляется, особенно на первых этапах внедрения, достаточно безопасным по нескольким причинам. Прежде всего очевидно, что сначала такие технологии затронут лишь очень небольшую часть населения и общественных структур, тем более что почти наверняка многие военнослужащие будут, по-видимому, добровольно и даже с удовольствием подвергаться медицинским мани-

пуляциям, повышающим их боеспособность и выживаемость в случае ранения. Однако можно и предположить, что в дальнейшем, по мере распространения таких методик по всему миру, солдаты многих стран (в первую очередь тех стран, где права человека соблюдаются и уважаются недостаточно) будут подвергаться имплантации или воздействию новых препаратов в обязательном порядке (подобно существующим системам принудительной и общей вакцинации населения)[10]. Строго говоря, задачи немедицинского манипулирования возможностями человеческого организма (и определения позволяемых для этого операций) выходят далеко за рамки медицинских проблем и имеют гораздо более общий характер. Дело в том, что до настоящего времени существовали и продолжают существовать весьма строгие медицинские и этические ограничения, связанные с немедицинским вмешательством в любые проявления жизнедеятельности человеческого организма. В большинстве религиозных систем мира тело человека рассматривается в качестве некоей «святыни», изменение состояния которой допускается только по медицинским показателям, имеющим своей целью восстановление или поддержание здорового состояния организма.

Результатом столь строгого и долговременного запрета осталось негативное отношение к любым прикладным работам в этом направлении. В качестве наглядного примера можно привести сохраняющееся в обществе отрицательное отношение к любым попыткам генетического совершенствования человеческой природы (что вполне осуществимо в рамках достижений современной науки), запрет на использование стимуляторов (допинга) в спорте и т.п. С другой стороны, социальные и этические запреты проявляются слабее по отношению к конкретным действиям, направленным на «улучшение» собственного тела, вследствие чего многие люди добровольно подвергаются косметическим и хирургическим операциям. При этом операции часто производятся не только для коррекции физических недостатков, но и просто из подражания модным или распространенным эстетическим образцам социального окружения. Например, в последние годы широкое распространение получили химические препараты самого разнообразного назначения. Многие пожилые мужчины принимают средства, повышающие половую потенцию (несмотря на связанный с этим риск побочных эффектов), родители все чаще соглашаются на применение химических агентов, подавляющих детскую гиперактивность, а среди студентов почти массовым стало увлечение препаратами, повышающими память и внимание [см. Hall S.S., 2003].

Уже в ближайшие годы появятся новые типы имплантантов и методы манипуляции возможностями человеческого организма, что позволит не только лечить различные заболевания, но и повышать возможности обычных, здоровых людей. Естественно, такой процесс будут происходить параллельно с углублением наших знаний о функциональных возможностях человеческого организма и накоплением опытных данных по длительному использованию имплантантов.

Некоторые из новых приложений уже доказали свою безусловную полезность и эффективность, как, например, имплантированные чипы с медицинской информацией или чипы с радиопередатчиками, широко используемые во многих странах для идентификации домашних животных. В течение ближайших 10–20 лет исследователи надеются разработать устройства общего назначения, снабженные беспроволочной связью с глобальными информационными сетями, что, возможно, сможет обеспечить контакт с человеческим мозгом при помощи матриц из большого числа имплантированных микроэлектродов. Успех в этом направлении позволит существенно усилить способность человеческого мозга к запоминанию и обработке информации.

С другой стороны, многие приложения такого типа являются потенциально опасными или таят в себе возможности злоупотребления. Например, те же идентификационные устройства могут использоваться для организации тотальной слежки, и легко представить, как мощные корпорации начнут заставлять своих сотрудников в массовом порядке участвовать в каких-то программах имплантации сенсорно-эмоциональных устройств, что станет мощным средством манипуляции общественным сознанием и поведением. Возможность электронной стимуляции некоторых мозговых центров (связанных с выделением эндоморфинов и вызываемым этим ощущением «счастья», сексуального возбуждения и т.п.) вполне может привести к возникновению «виртуальной» наркомании и ситуации, когда люди перестанут заботиться даже о поддержании собственной жизни. Предполагаемая ситуация заставляет вспомнить о знаменитых экспериментах начала 50-х годов, при которых крысам вживляли электроды и предоставляли им возможность «самостимуляции» [Olds, 1958]. Точно так же чрезвычайно привлекательная (для каждого отдельного человека) идея о замене больных органов и значительного увеличения сроков жизни при зрелом размышлении представляется весьма спорной и даже опасной для общества в целом. Основная проблема состоит в том, что предлагаемые изменения не только касаются самой природы человека (как представителя биологического вида), но

и являются очень глубокими и важными. Такие изменения всегда влекут за собой серьезные этические проблемы (в этой связи можно вспомнить ожесточенные споры по поводу использования стволовых клеток или клонирования человека), и человечеству придется решать очень непростую задачу приспособления к крупномасштабным общественным явлениям совершенно нового типа.

Упомянутые выше проблемы затрагивают важнейшие аспекты существования гражданского общества, и общественность уже сейчас должна тщательно обсудить, изучить и оценить в рамках демократического государства все вопросы, связанные с немедицинским манипулированием человеческим организмом. Реальная угроза обществу состоит в том, что широкое внедрение описываемых устройств и методов в военные структуры может сорвать такое обсуждение и сделать его бессмысленным. Общество как бы «привыкнет» к новшествам, смирится со свершившимся фактом реализации идеи и тем самым фактически лишится возможности выбора. Некоторые последствия такого «военного» повышения характеристик человеческого организма будет позднее очень трудно или даже невозможно корректировать, что представляет собой очевидную опасность для всей существующей социально-политической системы современного общества.

Описанные выше миниатюрные ядерные заряды (если, конечно, они когда-нибудь будут реально созданы) могут стать опасными для социальной и политической жизни лишь в том случае, если они попадут в руки террористов или преступников. Проблемы, связанные с этой опасностью, пока представляются гипотетическими, но они заставляют еще раз вспомнить о достаточно реальной угрозе использования террористами новых типов химического и бактериологического оружия. К позитивным факторам развития НТ в этой области следует отнести новые возможности создания средств защиты от химического и бактериологического оружия и нейтрализации соответствующих агентов.

6.1.3.4. Предотвращение опасностей для социальной инфраструктуры

Опасность для социальной инфраструктуры, подобно другим критериям данной категории, может рассматриваться только по отношению к условиям мирного времени. Функционирование любой современной социальной инфраструктуры обеспечивается непрерывной работой множества крупномасштабных систем (типа транспорта, сетей коммуникации, электроснабжения и т.п.), в результате чего любая крупная авария в одной их них может иметь очень серьезные последствия для всей инфраструктуры в целом. Этим объясняется тот факт, что именно такие системы чаще всего становятся целью атак террористов.

Военные приложения НТ общего типа не имеют прямого отношения к инфраструктуре, как, впрочем, и некоторые упомянутые выше специфические приложения (камуфляж, датчики боевого применения, индивидуальные армейские системы, манипуляции возможностями человеческого организма, невооруженные автоматические системы, мини- и микроботы небоевого назначения и т.п.). Датчики разных типов (особенно те, которые создаются для контроля над выполнением условий соглашений по ограничению вооружений и других инспекционных целей), разумеется, быстро найдут применения в социальной инфраструктуре, и можно даже ожидать их широкого использования в разных областях (от охраны территорий до проверки состояния питьевой воды и т.п). Многие военные разработки в области вооруженных или защитных средств могут, конечно, оказаться весьма полезными в борьбе против террористических актов и нападений.

Некоторые модификации оружия обычных типов (не содержащие металла изделия, миниатюрные системы наведения и ракеты), позволяющие организовывать эффективные и тайные боевые действия против элементов социальной инфраструктуры, могут в будущем стать очень опасным средством в руках криминальных организаций. Значительную опасность смогут представлять в будущем и мини/микроботы, которые можно будет использовать не только для прямых военных действий, но и в качестве средств доставки в намеченные пункты высокотоксичных химических и биологических агентов, а также в качестве своеобразных механических «диверсантов». Микроботы будут способны проникать внутрь сложных технических установок или механизмов, а затем поражать их наиболее уязвимые и важные элементы. Микроспутники смогут поражать крупные коммерческие спутники, уже сейчас играющие очень важную роль в глобальной информационной инфраструктуре (при таких атаках значительный ущерб будет приноситься и тем государствам, которые вообще не принимают участия в военном конфликте). Маловероятно, чтобы вооруженные автономные устройства попали в распоряжение преступников, однако такие устройства следует рассматривать в качестве источника повышенной опасности для инфраструктуры

при авариях и катастрофах (например, при транспортных происшествиях и т.п.).

Миниатюрные ядерные заряды, как отмечалось выше, могут представлять угрозу для инфраструктуры лишь в маловероятных ситуациях их захвата преступниками или террористами. Новые химические и биологические агенты, конечно, следует отнести к факторам, угрожающим безопасности инфраструктуры, например, из-за возможности их использования для террористических действий. Положительным и стабилизирующим фактором, безусловно, можно считать разработку средств защиты от химического и биологического оружия.

6.2. Применимость предлагаемых критериев превентивного контроля к молекулярным нанотехнологиям

Поскольку молекулярные нанотехнологии пока еще далеки от реализации и их военные приложения остаются лишь темой свободной дискуссии, предлагаемое ниже обсуждение носит очень общий и поверхностный характер. Некоторые аспекты этой проблемы рассматривались в работе Габрада [Gubrud, 1997].

6.2.1. Критерии группы I

Следует сразу отметить, что одно из фундаментальных положений теории молекулярных НТ состоит в возможности организации очень дешевого и почти неограниченного по объему производства различных типов вооружения, что глубоко противоречит самой идее контроля над вооружениями. Поэтому необходимо подчеркнуть, что практически все типы планируемого оружия этого типа представляют собой *угрозу существующим или подготавливаемым договорам по разоружению или контролю над вооружениями*. Речь идет об ограничениях, накладываемых как на обычные типы вооружения (легкого, тяжелого, малой мощности, мины и т.п.), так и на космические системы. Развитие молекулярных НТ может значительно осложнить любые будущие переговоры об ограничении военного использования некоторых новых технологий. Например, возможность создания на основе молекулярных НТ гипотетических систем искусственного интеллекта или киборгов (которые в настоящее время не подпадают под действие никаких соглашений!) заставит дипломатов столкнуться с совершенно неожиданными проблемами определения пределов личности и т.п. Если молекулярные НТ позволят исследователям когда-нибудь действительно создать самовоспроизводящиеся нанороботы (обладающие избирательным воздействием на органы человеческого тела), то под угрозой могут оказаться все ранее заключенные договоры и конвенции по запрету химического и биологического оружия. Благодаря возможности стремительного наращивания производства некоторые молекулярные НТ будут «провоцировать» их обладателей на организацию превентивного удара по ядерным центрам противника, что сразу «подорвет» доверие ко всем заключенным соглашениям об ограничении ядерного оружия. Любое использование самовоспроизводящихся роботов (представляющих собой одну из важнейших компонент развития молекулярных НТ) угрожает привести к масштабным, длительным и существенным изменением состояния окружающей среды, что, кстати, может произойти без всякого умысла (в результате непредусмотренных последствий исходных планов) или даже оказаться совершенно непреднамеренным. В любом случае оно не только станет грубейшим нарушением Конвенции о сохранении окружающей среды, но и может просто привести к полному уничтожению экосистемы планеты, превратив ее в пресловутую «серую слизь». Положительным фактором влияния МНТ на критерии в рассматриваемой области (а именно проведение мероприятий по ограничению вооружений и снижению риска вооруженной конфронтации) можно считать лишь возможность создания системы «вездесущих» нанороботов, способных к тотальному контролю обстановки, хотя даже и эти разработки таят в себе немало опасностей (как для отдельных граждан, так и для человечества в целом).

Как не удивительно, но в области соблюдения *существующих гуманитарных норм* некоторые приложения молекулярных НТ обещают даже «смягчить» отрицательные последствия применения «обычных» нанотехнологий. Например, в разделе 6.1.1.2 упоминалась проблема развития «сверхагрессивности» военнослужащих под воздействием некоторых новейших методик и средств, основанных на НТ. Этот вопрос может потерять свою актуальность, если в будущем боевые действия сторон будут осуществляться вооруженными автономными устройствами. Оснащение таких устройств и мини/микроробототов искусственным интеллектом (возможно, превосходящим по уровню человека) или эффективной связью с таким интеллектом снимает также проблемы несанкционированного применения боевых средств и надежного опознавания лиц, не связанных с военными действиями (гражданского населения, выведенных из строя военнослужащих противника и т.п.). С

другой стороны, нельзя не отметить, что в этой же фантастической ситуации (со сверхчеловеческим интеллектом) должна возникнуть и фантастическая возможность того, что такое устройство начнет принимать «собственные» решения независимо от «программистов», что может привести к совершенно немыслимому по масштабу нарушению гуманитарных норм (привычные нам понятия гуманитарности явно должны противоречить представлениям о сверхчеловеческом интеллекте). В сочетании с уже упоминавшимися методами манипуляции возможностями человеческого организма, применение микророботов может привести к самым различным ситуациям, когда в результате «ошибочных решений» будут массово нарушаться гражданские права населения, пленных и других категорий населения, непричастных к проведению военных действий.

В некоторых ситуациях применение гипотетических средств МНТ становится эквивалентным использованию средств массового поражения, например при организации очень быстрого и массового производства новых видов оружия (биологического, химического или даже ядерного действия). Модификация химических и биологических агентов, предлагаемая некоторыми направлениями развития молекулярных НТ, обещает сделать новые виды оружия высокоизбирательными (селективными), однако это не снимает опасности массового поражения. Кроме того, самовоспроизведение микроустройств описываемого типа может привести к появлению новых, незапланированных разновидностей (точнее следует говорить, по-видимому, о следующих «поколениях») оружия.

Любое применение пресловутой «серой слизи» грозит общей гибелью всех видов жизни, даже если на начальном этапе ее применения можно уберечь от прямого уничтожения какую-то часть населения, животных и растений. Предлагаемые в некоторых молекулярных НТ методы воздействия на сознание людей (с целью «ограниченной» потери адекватности поведения) являются фактически очень опасными, так как и они могут привести к крупным техногенным катастрофам и авариям, вызывающим нарушение работы социальных структур с последующей массовой гибелью населения. К положительным приложениям молекулярных НТ можно отнести только возможность организации более строгого контроля над средствами массового поражения, создания новых средств защиты населения и т.п.

6.2.2. Критерии группы II

Еще Габрад [Gubrud, 1997] предупреждал, что некоторые молекулярные НТ могут очень сильно дестабилизировать военные ситуации. Например, созданные на их основе разведывательные, наблюдательные и боевые устройства разных размеров и назначений, принадлежащих разным странам, могут даже вступать в контакт друг с другом (особенно в водах мирового океана и в космосе), вследствие чего боевые действия в этих сферах могут начаться практически без предупреждения, тем более что все оперативные системы будут заранее запрограммированы на очень быструю реакцию в случае сложных или непредвиденных ситуаций. Для пересечения сухопутных границ молекулярным устройствам, конечно, потребуется некоторое время, но оно может быть резко сокращено путем их предварительной доставки и размещения в специальных установках, способных в дальнейшем обеспечить их транспортировку и деятельность после начала боевых действий. В некоторых особых случаях (например, при переброске одной-единственной и очень миниатюрной исходной копии, способной к дальнейшей репликации) контроль является практически совершенно неосуществимым. Ответная реакция систем обнаружения противника может оказаться весьма серьезной, особенно в случае реальной (или мнимой) атаки на ядерные центры, ракетные центры ответного удара и т.д. Само наличие у противника таких «боевых» нанороботов уже автоматически повышает вероятность случайного развязывания ракетно-ядерного конфликта.

Предлагаемую молекулярными НТ возможность очень быстрой организации производства огромных запасов вооружения можно рассматривать в качестве кульминации идеи *количественной технологической гонки* вооружений [Gubrud, 1997]. Исключительно быстрые качественные изменения могут произойти после того, как будут созданы системы (сверх)человеческого интеллекта, способные самостоятельно осуществлять независимые научно-исследовательские работы в разработке военных систем. Разумеется, в этой фантастической ситуации стратегов и разработчиков военных планов могут ожидать самые разные неожиданности и «сюрпризы». Теоретически считается, что та страна, которой удастся опередить в этом направлении своих соперников, немедленно получит массу решающих преимуществ, вплоть до того, что она сможет претендовать (хотя бы теоретически) на мировое господство. В уже неоднократно цитированной работе Габрад [Gubrud, 1997] даже ввел представление о новом типе страте-

гической нестабильности (назвав этот фактор «нестабильностью, связанной с возможностью раннего преимущества»), под воздействием которой военно-политическое руководство многих стран будет вынуждено максимально ускорять развитие НИОКР в области молекулярных НТ по мере их будущего развития. Огромные потенциальные возможности и преимущества, обусловленные новыми успехами таких технологий, заставят военно-политические круги и правительства даже тех стран, которые связаны союзными обязательствами и договоренностями, полагаться не на традиционное сотрудничество, а только на собственные вооруженные силы и их техническую оснащенность. В этом случае даже между ближайшими союзниками будет нарастать взаимное недоверие, в результате чего гонка вооружений приобретет глобальный и всеобщий характер.

Огромный военный потенциал МНТ создает мощные побуждающие мотивы для *горизонтального, вертикального и диффузного распространения военных технологий, веществ и знаний*. Проблема усложняется исключительно малыми размерами исследуемых и представляющих интерес объектов, так как экспорт единственной копии самовоспроизводящегося исходного образца боевого нанороботa может привести к появлению миллионов копий. Передача одного универсального ассемблера и программы соответствующего синтеза создает техническое и программное обеспечение (хардвэа и софтвэа, по компьютерной терминологии) для наращивания производства разнообразных типов вооружения. При этом молекулярная сборка может осуществляться на малых предприятиях или даже в частных домах (с использованием в качестве сырья самых обычных и распространенных ингридиентов), в результате чего новые типы оружия, включая боевые нанороботы (способные воздействовать на организм человека), могут даже попасть в руки частных лиц. Существует вполне прогнозируемая вероятность того, что в будущем появятся некие «молекулярные хакеры», способные создавать даже так называемые «живые эквиваленты» (real-life equivalents), которые смогут воздействовать на процессы обработки информации в компьютерах и вычислительных системах, но неожиданно обретут способность влиять на события, происходящие в реальном мире. В результате таких фантастических «диверсий» наш мир будет изменяться, но (в отличие от компьютерных сбоев!) мы не сможем нажать клавишу «RESTART» и восстановить его исходное, т.е. как бы подлинное, состояние.

6.2.3. Критерии группы III

Развитие военных молекулярных НТ в мирное время станет источником опасности для людей и общества хотя бы потому, что новые технологии станут привычными и постепенно внедрятся в жизнь гражданского общества (сказанное относится и к многим другим технологиям и разработкам). Например, «диффузное» применение нанороботов для слежки и подслушивания может начаться с государственных организаций, а закончиться тем, что их будут широко использовать преступные элементы, незаметно воздействуя на жизнь и здоровье граждан. Еще большую опасность могут представлять несанкционированные или случайные действия самовоспроизводящихся систем (особенно систем военного назначения, специально создаваемых для осуществления разнообразных разрушительных операций). Если когда-нибудь молекулярные ассемблеры будут созданы и станут достаточно эффективными, то (после разработки соответствующих программ синтеза) их можно будет применять и для массового производства традиционных видов оружия, включая ядерное и т.п. Конечно, проведение собственных НИОКР и испытаний новых устройств для многих стран может оказаться слишком сложным и невозможным, однако для таких ассемблеров могут использоваться уже готовые программы (например, из числа военных разработок). Если в результате работы программистов и некоторых военных организаций будет создан искусственный интеллект, превосходящий по мощности мозг человека (для него уже придуман термин «сверхчеловеческий интеллект»), то такое устройство можно будет использовать для воздействия на мышление и поведение населения стран-соперников. Опасность состоит в том, что позднее оно вполне может быть применено для управления народом собственной страны. К счастью, все эти опасности являются пока лишь гипотетическими и весьма отдаленными (чтобы не сказать, фантастическими), поэтому сейчас не стоит даже обсуждать методы борьбы с ними.

Потенциальные опасности для окружающей среды и устойчивого развития общества в целом могут возникнуть также просто с утечкой связанных с МНТ военно-технических секретов, а также с возможным «перерасходом» материальных ресурсов при стремительном нарастании гонки вооружений, которая может возникнуть из-за реализации планов развертывания новых технологий. Многократно упоминавшаяся «серая слизь» (если ее возникновение окажется реальностью) также будет представлять чудовищную угрозу окружающей среде. Общественность, конечно, будет выступать против разра-

боток нанороботов разрушительного действия, однако нельзя быть уверенным, что военные круги не найдут обходных путей для производства таких устройств, случайное использование которых грозит всеобщей катастрофой. В целом следует констатировать, что потенциальные опасности развития молекулярных НТ значительно перевешивают их возможное положительное воздействие на развитие общества.

Молекулярные НТ представляют собой серьезную опасность для существующей социально-политической системы по многим причинам, которые сейчас могут показаться надуманными. Например, фантастическими выглядят сюжеты о гипотетическом сверхчеловеческом интеллекте, который может «захватить» власть над обществом, или о том, что даже смысл существования человека может измениться из-за взаимодействия с киборгами и превратиться в выполнение некоей «программы». Результаты развития МНТ, безусловно, приведут к появлению каких-то новых видов преступной деятельности и повысят уровень социальной нестабильности, что еще раз настоятельно диктует обществу необходимость тщательного изучения потенциала новых технологий и последствий их внедрения. Общество должно выработать соответствующие юридические нормы, что тоже является исключительно сложной задачей. Практические аспекты и все последствия любого предполагаемого использования военных НИОКР в гражданской сфере должны предварительно тщательно изучаться, причем процесс обсуждения может оказаться очень сложным, вызвать острое столкновение общественных интересов и привести к непредсказуемым последствиям.

Использование достижений молекулярной НТ криминальными элементами представляет собой особую опасность для социальной инфраструктуры, так как некоторые новые виды оружия позволят террористам наносить высокоэффективные удары по крупным объектам снабжения, информационным центрам и т.п., причем иногда для таких действий будет достаточно применить всего лишь одну самовоспроизводящуюся наноструктуру. Преступные и террористические организации будут стремиться захватить разработанные в армейских лабораториях разнообразные боевые устройства такого типа, например готовые наносистемы (возможно, копии исходных), молекулярные наноассемблеры или даже просто программы для молекулярной сборки.

6.3. Общая оценка существующей ситуации

В табл. 6.1 объединены оценки возможной роли разнообразных военных приложений НТ, перечисленных ранее в разделе 4.1 и обсужденных в разделе 6.1[11]. Оценка осуществлялась на основе изложенных выше критериев воздействия конкретных приложений на процесс превентивного контроля над вооружениями. Легко заметить, что по отношению к процессам предотвращения гонки вооружений (включая любые усилия по ограничению распространения новых военных технологий) практически все приложения и объекты помечены знаком «минус», означающим повышение опасности, что, конечно, является совершенно естественным. В других категориях оценки отличаются большим разнообразием и зависят от конкретного типа и области применения военных НИОКР. С точки зрения их использования в разных мерах по усилению превентивных ограничений (эти вопросы обсуждаются ниже, в разделе 6.4) особый интерес представляют следующие объекты и приложения:

- распределенные датчики;
- новые типы обычного оружия;
- имплантантируемые системы, манипуляции с человеческим организмом;
- вооруженные автономные системы;
- вооруженные и невооруженные мини/микроботы;
- микроспутники и средства их запуска;
- новые виды химического и биологического оружия.

Среди разработок, относящихся к ядерному оружию, наибольшую опасность представляют компьютерное моделирование взрывов, а также (возможно, даже в большей степени) создание миниатюрных атомных зарядов. К сожалению, именно в этих двух направлениях практически не предлагаются никакие ограничения, что связано со следующими принципиальными соображениями:

- Ограничение и проверка методов компьютерного моделирования ядерных взрывов теряют всякий смысл на фоне постоянно продолжающейся миниатюризации и глобального распространения вычислительной техники, что уже сейчас позволяет использовать компьютеры в любом количестве и в любом требуемом месте. Единственная возможность ограничения в этой области связана с тем обстоятельством, что высшее военное руководство разных стран не будет полностью полагаться на математические расчеты.

Скорее всего, военные будут требовать, чтобы спроектированные на компьютерах ядерные заряды перед запуском в производство подвергались каким-либо реальным испытаниям. Поэтому для контроля в этой области исследований можно использовать уже существующие запреты на проведение ядерных испытаний[12].

- В настоящее время очень трудно выработать разумные нормы превентивных ограничений для создания сверхмалых ядерных бомб, поскольку сама возможность их создания представляется неопределенной, и приступать к обсуждению соглашений еще рано. Необходимо тщательно контролировать исследования в ключевых смежных направлениях развития ядерной физики (создание и хранение антиматерии, инициирование микропроцессов ядерного слияния и т.п.) и уже сейчас готовиться к тому, чтобы начать переговоры сразу после получения первых важных результатов в какой-либо области.

Положительный эффект на процессы стабилизации и демилитаризации в целом указан в табл. 6.1 лишь для двух возможных приложений НТ, а именно – распределенных датчиков (которые, как уже отмечалось, могут значительно повысить эффективность контроля над выполнением соглашений по ограничению вооружений) и, естественно, методов защиты от химического и биологического оружия. Понятно, что введение превентивных ограничений на такие приложения было бы контрпродуктивным, однако и в этом случае необходимо обеспечить некоторые меры предосторожности от возможных злоупотреблений:

- Датчики, создаваемые для контроля над выполнением соглашений по ограничению вооружений, должны с самого начала проектироваться таким образом, чтобы их любое боевое использование было максимально затруднено, для чего было бы желательным, например, проектировать неподвижные конструкции (с дистанционным питанием и управлением). Кроме этого, следует минимизировать возможность использования таких датчиков для организации тотальной слежки, прослушивания и т.п., создавая их высокоспецифическими по отношению к веществам и событиям, относящимся к контролируемым соглашениям.
- Методы защиты от химического и биологического оружия (или его нейтрализации) могут и сами стать фактором дестабилизации и привести к гонке вооружений, так как значительные успехи в этой области могут спровоцировать применение новых средств для

наступательных операций. Следует запретить или ограничить НИОКР опасных программ такого рода. С другой стороны, выработка средств защиты или нейтрализации потенциально опасных новых агентов, естественно, во многих случаях требует использования и испытания в процессах НИОКР именно этих агентов. Возникающее противоречие необходимо преодолевать выработкой строгих правил, прозрачностью исследований и тщательной, многоступенчатой проверкой соответствия проводимых исследований условиям соответствующих конвенций по химическому (CWC) и биологическому оружию (BTWC). Некоторые рекомендации относительно таких правил предложены в работах [Steinbruner and Harris, 2003; Nixdorff, 2003].

В табл. 6.2 приводятся аналогичные оценки различных приложений МНТ (перечисленных выше, в разделе 6.2) в соответствии с критериями воздействия технологий на превентивный контроль над вооружениями (разумеется, эти оценки являются очень грубыми и предварительными ввиду гипотетического характера самих молекулярных НТ). Потенциальные военные приложения МНТ сгруппированы по пяти категориям. Очевидно, что некоторые особенности МНТ (автономность, возможность экспоненциального наращивания объема производства и т.п.) по отношению к критериям ограничения или запрета вооружений можно воспринимать только как «кошмарные», поскольку эти возможности делают бессмысленными даже разговоры о разоружении. Обсуждение связанных с этим превентивных ограничений приводится в разделе 6.4.8.

6.4. Возможности превентивного ограничения развития военных НТ

В этом разделе обсуждаются возможности превентивного ограничения наиболее «проблематичных» военных НТ, описанных выше. Вопросы ограничения связываются также с возможностями и перспективами гражданского применения технологий, а также организации простой, но достаточно эффективной системы проверки соглашений по ограничению.

6.4.1. Распределенные датчики

Из множества вариантов систем распределенных датчиков наибольшую опасность (как для международной стабильности вообще, так и

Таблица 6.1. Оценка потенциальных военных приложений НТ, исходя из критериев, предлагаемых для превентивного контроля над вооружениями. Уровни оценки отражают возможное влияние данной технологии на различные аспекты контроля над вооружениями. Система оценок включает четыре уровня, для обозначения которых используются следующие знаки: « – » (минус, опасно, отрицательное воздействие), « 0 » (ноль, нейтральное воздействие), « + » (плюс, полезно, положительное воздействие) и «U» (unclear, неясное воздействие). Более подробные пояснения к системе обозначений читатель найдет в разделе 5.2

	Организация эффективного контроля уровня вооружений, разоружения, соблюдения норм международного права			**Обеспечение и упрочение международной стабильности**			**Защита населения, окружающей среды и общества**			
	Контроль уровня вооружений/ разоружения	**Соблюдение законов гуманности**	**Оружие массового уничтожения**	**Дестабилизация**	**Гонка вооружений**	**Дальнейшее распространение**	**Защита населения**	**Защита окружающей среды/ поддержание устойчивости развития**	**Защита социально-политической системы**	**Защита социальной инфраструктуры**
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Электроника, фотоника, магнетики	0	0	0	0	–	–	0	0	0	0
Компьютеры, коммуникационные системы	0	0	0	–0	–	–	0	0	–0	0

Таблица 6.1. *Продолжение*

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Программное обеспечение/ искусственный интеллект	0	0	0	–0	–	–	0	0	–0	0
Материалы	0	0	0	0	–	–	u	u	0	0
Источники и аккумуляторы энергии	0	0	0	0	–	–	0	0+	0	0
Реактивное движение	0	0	0	–0	–	–	0	0+	0	0
Транспортные средства	0	0	0	–0	–	–	0	0+	0	0
Ракетные топлива и взрывчатые вещества	0	0	0	0	–	–	u	u	0	0
Камуфляж, форма	0	0	0	0	–	–	0	0	0	0
Распределенные датчики										
Датчики общего назначения	0	0	0	0	–0	–0	0	0	–	0+
Датчики боевого назначения	0	0	0	–	–	–	0	0	–	0
Контрольно-инспекционные датчики	+	0	0+	+	+	+	0+	0+	0	0+
Броня, средства защиты	0	0	0	0	–	–	0	0	0	0+
Модификация боевых средств обычного типа										
Оружие, изготовленное без использования металлов	–0	0	0	0	–	–	–	0	–	–

Таблица 6.1. *Продолжение*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Миниатюрные системы наведения и навигации	0	0+	0	–	–	–	0	0	0	–
Бронебойная техника	0	0	0	0	–	–	0	0	0	0
Микроракеты	–0	–0+	0	–	–	–	–	0	0	–
Армейские системы	0	0	0	0	–0	–0	0	0	0	0
Имплантированные системы, манипуляции с организмом	–0	–0	0	–0	–	–	–0	0	–	0
Автономные системы										
Системы без оружия	0	0	0	0	–	–	–0	0	0	0
Вооруженные системы	–0	–	0	–	–	–	–0	0	0	–0
Мини/микророботы (включая биотехнические гибриды)										
Мини/микророботы без оружия	–0	0	0	–	–	–	0	0	–	–
Радиомаяки наведения на цель, вооруженные мини/микророботы	–0	–	0	–	–	–	–0	0	–	–
Микроспутники/ средства запуска	–0	0	0	–	–	–	0	0	0	–
Ядерное оружие										
Вспомогательные системы	0	0	–0+	0	–0	–0	0	0	0	0
Компьютерное моделирование ядерных взрывов	–	0	–	0	–	–	0	0	0	0

Таблица 6.1. *Окончание*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Миниатюрные ядерные заряды	–	–0	–	–	–	–	0	–	–0	–0
Новые виды химического оружия	–	–	–	–	–	–	–0	–0	–0	–
Новые виды биологического оружия	–	–	–	–	–	–	–0	–0	–0	–
Средства защиты от химического и биологического оружия	0	0	+	–0+	–0	–0	+	0+	+	+

Таблица 6.2. Общая оценка основных видов потенциальных военных приложений молекулярных НТ, исходя из критериев, предлагаемых для превентивного контроля над вооружениями. Система обозначений та же, что и в таблице 6.1

	Организация эффективного контроля уровня вооружений, разоружения, соблюдения норм международного права			Обеспечение и упрочение международной стабильности			Защита населения, окружающей среды и общества				
	Контроль уровня вооружений/ разоружения	Соблюдение законов гуманности	Оружие массового уничтожения	Дестабилизация	Гонка вооружений	Дальнейшее расширение	Защита населения	Защита окружающей среды/ поддержание устойчивости развития	Защита социально-политической системы	Защита социальной инфраструктуры
Автономное производство с использованием самовоспроизведения	–	0	–	0	–	–	–0	–	0	0
Контрольно-воспринимающие/коммуникативные нанороботы	0+	0	0+	–	–	–	–0	0	–	–
Оружие	–	–0	–	–	–	–	–	–	0	–
Искусственный интеллект (возможно, даже сверхчеловеческий)	0	–0	0	–	–	–	–	0	–	0
Киборги и т.п.	–0	0	0	0	–	–	u	0	–	0

для гражданского сообщества, в частности) представляют так называемые боевые датчики (т.е. датчики, создаваемые специально для прямого использования в боевых действиях, иногда называемые также разведывательно-сигнальными датчиками). Связанный с их применением риск возрастает по мере уменьшения размера датчиков, как из-за сложности обнаружения малых и сверхмалых устройств, так и из-за возможности их массового производства и использования. Помимо этого, миниатюризация датчиков несколько неожиданно приводит нас к опасной неопределенности терминов, используемых чуть ниже (раздел 6.4.5) в рекомендациях по выработке полного и общего запрета на использование мини/микроробота. Проблема состоит в том, что проектировщики датчиков часто с самого начала пытаются снабдить создаваемые микродатчики хотя бы рудиментарными «органами» или признаками подвижности (которую в дальнейшем можно будет развивать и использовать). Однако такое вполне понятное стремление конструкторов, естественно, «размывает» границу между микродатчиками и микроботами, затрудняя введение запрета на производство последних. С другой стороны, вообще говоря, заключение любых соглашений о запрете или ограничении сверхмалых боевых средств становится почти невозможным просто из-за чрезвычайной сложности организации проверок и инспекций для таких видов оружия.

Распределенные датчики общего назначения (для контроля оборудования, решения задач логистики, наблюдения за безопасностью неподвижных объектов и т.п.) обычно малопригодны для наблюдения за поведением подвижных автономных систем. В тех случаях, когда такие датчики вмонтированы в более крупные детали оборудования, их электропитание может быть обеспечено системой проводов или работой локального радиочастотного излучателя. Для предотвращения аварий или несанкционированного применения таких устройств должны быть предусмотрены не только серьезные технические методы, но и, возможно, выработаны новые юридические нормы регистрации, уголовного наказания и т.п.

Из сказанного вытекает, что при выработке ограничительных мер основное внимание следует уделять именно датчикам боевого применения. К сожалению, заключение сколь-нибудь общего соглашения о запрете таких датчиков имеет очень мало шансов на успех, поскольку некоторые устройства этого типа уже приняты на вооружение, хотя пока все они имеют макроскопические размеры, порядка нескольких сантиметров [Blumrich, 1998]. В принципе, качественные

ограничения на производство боевых датчиков можно ввести, используя не только размер, но и другие параметры и методы передачи информации (например, можно разрешить только кабельную систему передачи данных или ограничить максимальный объем передаваемой по радио информации и т.п.), однако наиболее простым решением остается ограничение «снизу», т.е. введение лимита на минимальные размеры производимых устройств. По некоторым из предлагаемых ограничений будет очень трудно прийти к соглашению (как по существу проверок, так и по их методикам), поскольку основная опасность связана с распространением очень малых устройств, создаваемых на основе НТ. Возможно, наиболее практичным решением станет использование указанного выше простейшего критерия (ограничение размеров датчика «снизу»), дополненного новыми ограничениями на степень автономности и дальность передачи информации. Например, можно предложить соглашение *о полном запрете автономных датчиков боевого назначения, размеры которых меньше заданного предела (3–5 см)*. Такой запрет может относиться к датчикам как гражданского, так и военного назначения, и его следует применять уже на стадии разработки любых устройств рассматриваемого типа. Запрет может не относиться к более мелким датчикам, вмонтированным в крупные детали и элементы оборудования, а целенаправленно выделять лишь датчики так называемого внешнего или «полевого» действия. К сожалению, эта довольно разумная классификация в последние годы теряет смысл (в связи с нарастающей тенденцией проведения боевых действий в городских условиях), поэтому ее применение может привести к игнорированию многих военных акций или к ненужной двусмысленности формулировок соглашений.

В настоящее время реальная потребность общества в микродатчиках гражданского и коммерческого назначения является незначительной, поэтому их производство (даже в случае неожиданного возрастания спроса) можно легко подчинить количественным и качественным ограничениям, не позволяющим изготовителям выйти за рамки главных и принципиальных запретов. В качестве наглядного примера ограниченного по объему, но важного в гражданском отношении класса датчиков рассматриваемого типа можно указать все более широкое распространение миниатюрных медицинских видеокамер, которые все шире используются при проведении внутриполостных операций, при изучении процессов внутри организма и т.д. Дальность передачи изображения такими камерами для всех гражданских целей вполне может быть ограничена (без ущерба эффективности и полезности) расстоянием в несколько метров, что не позволит использовать их в военных целях.

Кстати, под действие предлагаемого запрета подпадают и существующие в настоящее время устройства слежки, подслушивания и контроля (например, обшеизвестные «жучки» в телефонных сетях для перехвата чужих разговоров и т.п.). В Германии их применение уже является совершенно незаконным, а предлагаемый запрет не только сделает столь же незаконным их производство, импорт, хранение и владение, но и крайне ограничит любое использование таких устройств даже правительственными правоохранительными органами. Естественно, не стоит даже добиваться запрета применения подслушивающих устройств агентствами и организациями, связанными с разведкой и шпионажем (поскольку для таких организаций их использование всегда остается столь же незаконным, сколь естественным и неизбежным), однако следует предотвратить развертывание таких датчиков в вооруженных силах.

Собственно говоря, предлагаемый минимальный размер датчиков остается макроскопической величиной (~ несколько сантиметров), вследствие чего проверка выполнения условий соглашения остается достаточно простой задачей, которая может осуществляться инспекцией на местах, с тщательным визуальным осмотром всего оборудования и территории объектов, даже если они являются крупномасштабными и обширными (например, военные базы, тренировочные и испытательные центры и т.д.). Для обнаружения и изучения «нелегальных» датчиков размером менее 1 мм уже необходимо разрешить инспекторам пользоваться портативными микроскопами. Контролю должны подвергаться также институты и фирмы, связанные с проведением таких разработок (или вызывающие подозрения), включая лаборатории, где можно проводить эксперименты тайно. В гражданском секторе инспекциям должны подвергаться промышленные предприятия, государственные организации, а также (при необходимости) некоторые медицинские и другие учреждения.

6.4.2. Новые типы (модификации) уже известных видов оружия

Воздействие влияния новых технологий на развитие и модификацию уже известных видов оружия может проявиться в самых разнообразных и неожиданных формах. В некоторых случаях (например, в производстве бронебойных снарядов) оно будет, по-видимому, настоль-

ко незначительным, что внедрение новых технологий даже не потребует введения никаких дополнительных ограничений. С другой стороны, модификация методами НТ некоторых видов традиционной боевой техники (бронетехника, артиллерия, тактическая авиация, вертолеты и т.п.) очевидно потребует дополнительных уточнений соответствующих положений и определений уже существующего Договора об ограничении обычных видов вооружения в Европе. Изменения и уточнения могут потребовать и аналогичные договоренности и соглашения в других регионах планеты (проблема выработки соглашений об автономных видах оружия и его носителях ниже рассматривается отдельно, в разделах 6.4.4 и 6.4.5). Широкое распространение легкого и стрелкового оружия, изготовленного из неметаллических материалов, может создать серьезные проблемы для общественной жизни лишь при несанкционированном применении (например, преступными группировками и т.п.). Немного забавным выглядит тот факт, что такое оружие не приносит никаких преимуществ, а при гражданском использовании его применению вообще нельзя придумать разумных оснований. Поэтому представляется вполне обоснованным ввести *полный запрет на легкое и стрелковое оружие, изготовленное из неметаллических материалов*, причем этот запрет должен относиться как к военному, так и к гражданскому сектору экономики и должен применяться еще на стадии разработок и испытаний. Если же, по непредвиденным обстоятельствам, в будущем возникнет реальная потребность в таких видах оружия, то производителей можно будет обязать вводить в продукцию специальные металлические метки, позволяющие регистрировать изделия при помощи рентгеновских установок, металлоискателей и другой уже развитой и применяемой техники. Наличие такого легкого оружия и боеприпасов достаточно крупных размеров (10 см и 1 см соответственно) легко можно будет проверять инспекцией непосредственно в военных и охранных организациях, тренировочных и производственных центрах и т.п. Помимо представляющегося достаточным тщательного визуального контроля, при инспекции можно применять также общую и индивидуальную маркировку некоторых типов оружия и боеприпасов.

Очень трудно организовать проверку выполнения соглашений, относящихся к ограничению малых систем навигационного управления и наведения на цель (поскольку такие системы обычно просто входят в комплект оружия и боеприпасов), вследствие чего было бы разумнее сделать ставку на более строгие ограничения производства самих изделий этого класса. Эта проблема является достаточно важной, в частности для предотвращения неожиданного удара какой-либо стороной (с использованием лишь традиционных видов оружия) по ядерным объектам и центрам стратегического управления противника.

Микроракеты могут стать серьезным фактором дестабилизации военной обстановки лишь после значительного повышения их дальности и точности, что и позволит им наносить точечные удары по стратегическим центрам управления противника, однако сейчас они могут создавать серьезную угрозу обшественной жизни при несанкционированном использовании террористами или преступными организациями. Строго говоря, малые ракеты (с длиной до 0,5 м), а также сверхмалые ракеты полевого применения с длиной менее 5 см, получившие в английском языке специальное название antipersonnel missiles (ракеты с боевой частью, предназначенные для поражения живой силы противника), уже сейчас представляют собой особый класс оружия. При любых переговорах и обсуждениях такие устройства следует четко отличать от ставших привычными переносных зенитных установок и так называемых артиллерийских ракет (с длиной порядка 1,5 м). В гражданском секторе экономики микроракеты практически не применяются, и их использование ограничивается, повидимому, только фейерверками и «забросной» якорей или канатов при некоторых спасательных работах. Поэтому можно и следует ввести полный *запрет на ракеты длиной меньше заданного предела (0,2–0,5 м)*, сделав оговорку относительно упомянутых выше незначительных гражданских применений. Запрет должен относиться как к военному, так и к гражданскому сектору экономики и должен применяться еще на стадии разработок и испытаний. Проверка выполнения условий запрета может осуществляться тщательным визуальным наблюдением при инспекции непосредственно в военных или гражданских организациях, включая тренировочные и испытательные центры, а также производственные мощности.

6.4.3. Имплантируемые системы – манипуляции с организмом человека

Имплантируемые в человеческий организм устройства в настоящее время играют важную роль в медицине и широко используются при диагностике и лечении самых разных болезней. Уже сейчас применяется множество таких устройств самого разного типа (от простых, чисто механических суставов и соединительных деталей до сложных

сердечных электростимуляторов, включающих в себя датчики, процессоры и стимулирующие электроды). В будущем сложность и разнообразие устройств такого типа будут неизбежно возрастать за счет использования новейших достижений НТ и МСТ, а также будут возникать и развиваться совершенно новые приложения и методы воздействия на организм (например, связанные с применением специфических препаратов, воздействующих на определенные органы или меняющих метаболизм клеток и т.п.).

Очень важным и перспективным классом имплантантов являются устройства, позволяющие управлять биохимией естественных процессов организма за счет «программированного» выделения требуемых препаратов (например, имплантированное устройство может непрерывно измерять уровень содержания сахара в крови диабетика и при необходимости немедленно вводить в кровь требуемое количество инсулина). Аналогичный подход представляется весьма перспективным для лечения целого ряда хронических заболеваний и психических расстройств, включая шизофрению, слабоумие и т.п. Разнообразные НИОКР, связанные с теоретическими и практическими задачами медицины, значительно расширяют возможности военных приложений датчиков и тем самым объективно препятствуют выработке любых соглашений по их ограничению.

Однако в будущем можно ожидать возникновения сложных проблем и для гражданского использования датчиков, поскольку (по мере их распространения и удешевления) начнется применение таких устройств частными лицами без медицинских показаний. Многие люди будут использовать их просто для повышения возможностей человеческого организма, например для улучшения памяти, усиления мышечной силы, способности бодрствовать длительное время и т.п. Еще более серьезные проблемы могут возникнуть после создания имплантируемых устройств, выделяющих в организм психотропные препараты, т.е. вещества, воздействующие на восприятие действительности (например, создающие ощущения счастья, удовлетворения и т.д.). Такое воздействие очевидным образом угрожает возникновением нового типа «наркотической» зависимости даже в тех случаях, когда какие-то биохимические процедуры позволяют снизить опасные вторичные последствия.

Другое направление развития медицинских имплантантов связано с возможностью создания контактов непосредственно с клетками мозга, что позволяет воздействовать (электрическими или электрохимическими сигналами) на работу мышц, нервов или даже самого

мозга. В качестве примера можно привести ставшую рутинной микрохирургическую операцию на так называемой «улитке» внутреннего уха человека, когда в организм вживляются микроэлектроды для подачи стимулирующих электрических сигналов, что позволяет преодолевать некоторые формы глухоты. Сейчас ведутся очень интересные и перспективные исследования возможностей введения электродов в глаз человека для стимулирующего воздействия на сетчатку, что, возможно, позволит врачам возвратить зрение пациентам с некоторыми формами врожденной слепоты. Еще более впечатляющими являются эксперименты по вживлению многоэлектродных решеток непосредственно в кору больших полушарий человеческого мозга с целью выявления поврежденных «центров», ответственных за развитие эпилептических припадков. Используя эту методику, врачи надеются в будущем не только точно диагностировать приближение таких припадков, но и предотвращать их. В дальнейшем, возможно, аналогичный подход позволит преодолевать тремор (дрожание пальцев) при болезни Паркинсона и ряд других болезней, связанных с нервной системой. Общеизвестно, что больные с переломом позвоночника обречены на паралич нижних конечностей, поскольку из-за повреждения спинного мозга электрические сигналы из коры больших полушарий не могут передаваться к соответствующим мышцам. Снятие сигналов непосредственно с введенных в мозг электродов должно, в принципе, позволить не только их передачу на мышечную систему, но даже и использование для эффективного и полноценного управления протезами (например, в случае потери конечности).

В настоящее время такие медицинские исследования, относящиеся к возможности восстановления потерянных функций человеческого организма и создания искусственных органов, вызывают у общественности только восхищение. Мы не задумываемся о связанных с этим этических проблемах, однако ситуация может резко измениться, когда такие искусственные органы станут значительно эффективнее настоящих или когда появятся интерфейсы типа мозг/ЭВМ (переходные устройства, позволяющие связать человеческий мозг с компьютером), способные передавать сложные образы, представления или даже мысли. Появление таких высокоразвитых имплантируемых устройств выведет медицину на качественно новую ступень развития и заставит задуматься о необходимости превентивных ограничений.

Постепенный общий прогресс медицины и ускоряющееся развитие некоторых ее направлений в последние годы все чаще заставляют

врачей пересматривать свой профессиональный этический кодекс, тем более что перед ними постоянно возникают новые, значительно более сложные задачи и проблемы, связанные уже не с простым восстановлением потерянных функций, а с возможностью фундаментального вмешательства в работу человеческого организма. Легко указать огромные преимущества, которые предлагают в этом направлении новейшие технологии, основанные на НТ. Например, врачи смогут создавать искусственные кости (превосходящие естественные по прочности и не поддающиеся остеосклерозу), имплантировать в мозг компьютер (соединенный через интерфейс с глобальной информационной сетью или даже со всеми информационными ресурсами планеты) и осуществлять множество других столь же фантастических операций. Также легко представить себе и возможности чудовищных злоупотреблений этими же технологиями, например, со стороны производителей вживляемых биочипов или создателей используемого провайдерами программного обеспечения. Ситуация во многом напоминает ту, которая возникает при использовании генной инженерии и манипуляций с человеческим организмом. Значимость проблемы и серьезность возникающих проблем требуют, чтобы общественность тщательно обсудила и взвесила необходимость и степень ограничений для всех перечисленных выше направлений перспективных технологий. В их число входят манипуляции с организмом, методы генной инженерии, имплантация устройств, методы выделения препаратов имплантированными датчиками, применение искусственных органов, модификация биохимических процессов, возможность введения контактов в мозг и регулирования происходящих в нем процессов, создание интерфейсов типа мозг/ЭВМ и ряд других разрабатываемых или планируемых технологий.

Общественное обсуждение перечисленных выше проблем может потребовать длительных и серьезных дебатов, а также, возможно, оценки практического опыта применения новых методов немедицинского вмешательства в работу человеческого организма. Для целей контроля и ограничения опасных видов оружия очень важно, чтобы обсуждение этих вопросов различными общественно-политическими организациями не было сорвано бесконтрольным развитием военных приложений НТ. Поскольку в гражданском секторе медицины этические нормы при испытании новых средств и методов соблюдаются достаточно строго, напрашивается мысль о желательности запрета на любые исследования с манипуляциями организмом человека в военной сфере, однако введение такого запрета является

проблематичным по двум следующим причинам. Во-первых, использование имплантантов является безусловно нужным и важным и в некоторых гражданских специальностях, связанных с опасностью для жизни и здоровья (полиция, пожарная охрана, службы спасения при чрезвычайных ситуациях), а во-вторых, после обсуждения общественность может прийти к выводу, что использование некоторых имплантантов будет разрешено при определенных ограничениях, вследствие чего запрет на военные разработки окажется бессмысленным. Основная цель состоит в том, чтобы общество могло спокойно и без излишней торопливости выработать здравое общее отношение и принять взвешенные решения по этой весьма важной проблеме. Возможно, наиболее рациональным решением было бы введение временного запрета на любые применения обсуждаемых технологий (как в военном, так и в гражданском секторе). Речь может идти о *моратории на имплантацию и другие манипуляции с человеческим организмом, не связанные непосредственно с медицинскими показаниями* для данного человека. Мораторий *должен относиться как к военному, так и к гражданскому сектору исследований и применений, а его срок действия должен составлять 10 лет* с возможной пролонгацией действия[13]. Для координации действий и взаимопонимания необходимо привлечь к обсуждению авторитетные международные организации, имеющие прямое отношение к сотрудничеству в области медицины, и прежде всего Всемирную организацию здравоохранения (ВОЗ), которая сможет при необходимости гарантировать проверку заключенных соглашений, организуя так называемые инспекции по запросу. Проверяющие сотрудники ВОЗ должны обладать правом доступа к медицинскому оборудованию, историям болезней и т.п., включая опрос пациентов и врачебного персонала, связанного с операциями имплантации или другими видами манипуляции человеческим организмом.

Разумеется, как и при всех других видах научных исследований, при организации проверок может выявиться так называемая «серая зона» разработок, относительно средств и методов которой необходимо будет дополнительно выработать новые соглашения. Некоторые вопросы и проблемы, требующие уточнения определений, представляются очевидными и могут быть сформулированы уже сейчас. Следует ли считать имплантантами прикрепляемые к коже устройства, которые непрерывно анализируют состав крови и лимфы человека, а затем при необходимости вводят в организм через микрошприцы требуемые препараты? Какие юридические нормы должны использоваться при добровольном согласии пациентов на различные операции по трансплан-

тации или различные манипуляции с его организмом? Еще одна важная проблема связана с возможностью считывания и использования медицинских данных, записываемых биочипами. На первый взгляд, такое считывание представляется безобидным и даже полезным (например, при необходимости оказать человеку срочную медицинскую помощь), однако при менее очевидных обстоятельствах (кстати, вовсе не обязательно связанных с военными приложениями) такая процедура откроет перед обществом ящик Пандоры и вызовет массу осложнений. Упомянутая выше «серая зона» неопределенности может значительно расшириться, как только речь зайдет о возможности введения в организм препаратов не с помощью имплантантов, а другими методами. Например, совершенно непонятно, как следует относиться юридически к приему препаратов вместе с безобидными напитками (типа кофе) или в сочетании с распространенными лекарствами типа амфетамина. При выработке соглашений во всех спорных ситуациях следует исходить прежде всего из оценки эффекта, производимого конкретными препаратами, и степени их воздействия. В качестве прецедента во многих случаях можно будет руководствоваться очень богатым законодательным опытом, выработанным организациями по борьбе с наркотиками, а также спортивными организациями, контролирующими применение допинга или иных стимуляторов в ходе соревнований.

Хотелось бы надеяться, что международному сообществу удастся выработать какое-то общее мнение по рассматриваемым вопросам, имеющим фундаментальное значение для всего человечества, а затем и заключить общие соглашения, несмотря на различия в национальных культурах и традициях.

6.4.4. Вооруженные автономные системы

Особого внимания и систематизации заслуживает проблема превентивного ограничения в развитии так называемых вооруженных автономных систем (в сущности, их можно назвать боевыми роботами), способных перемещаться практически во всех средах. Устройства данного типа на наших глазах превращаются в новый класс вооружений, способных играть важную роль в будущих военных конфликтах. С формальной точки зрения проблема использования боевых автоматических устройств не связана непосредственно с развитием НТ, однако именно разработки в этой области позволяют превратить роботы в высокоэффективные боевые машины. Прежде всего мощные и миниатюрные вычислительные устройства (создаваемые на основе

достижений НТ) позволяют придать военным автоматическим устройствам принципиально важную способность принимать самостоятельные решения, т.е. действительно стать автономными. Кроме этого, НТ широко используются при создании множества разнообразных датчиков и приводов, без которых роботы не могли бы функционировать. Предлагаемый раздел книги представляет собой первую попытку оценки этого класса оружия и возможностей его ограничения[14].

Вооруженные автоматы (боевые роботы) практически не имеют никакого применения в гражданском секторе экономики, за исключением весьма специализированных и функционально ограниченных роботов, используемых, например, в охранных системах. Такие роботы-охранники обычно снабжаются лишь очень легким или так называемым нелетальным вооружением, однако наличие даже такого оборудования противоречит некоторым принципам конституционного права. Еще одной областью применения вооруженных роботов можно считать их использование в полицейских операциях против террористов, при освобождении заложников и т.п. При распространении практики такого применения вооружение роботов, естественно, должно соответствовать правилам и образцам, определяемым полицейскими инструкциями, а их число и подвижность также должны быть ограничены какими-то правилами (такие ограничения необходимы хотя бы затем, чтобы сделать невозможным военное применение таких устройств или не создавать спорных ситуаций). Приведенным требованиям прекрасно удовлетворяют, например, методы дистанционного управления роботами, которых используют спецслужбы при обезвреживании или подрыве подложенных бомб, подозрительных предметов и т.п.

Армейское командование, конечно, проявляет большой интерес к разработке вооруженных автоматов, тем более что их возможности в будущем могут значительно возрасти с повышением подвижности и уменьшением размеров. Кроме этого, использование роботов позволяет снизить потери в живой силе и понизить общие расходы на проведение боевых операций. Однако, как уже отмечалось в разделе 6.1, с точки зрения общих критериев разоружения и превентивного ограничения вооружений применение вооруженных автоматов является негативным фактором, снижающим шансы заключения в будущем эффективных соглашений по разоружению. Проблема заключается в том, что вооруженные автоматические системы, совершенно очевидно, представляют собой качественно новый класс вооружений,

вследствие чего оптимальным выходом из положения могло бы стать введение общего *запрета на любые вооруженные системы многократного действия, функционирующие без участия человека (команды)*. В настоящее время ни одна из армий пока не развертывает такие системы, и даже США отказались от планов размещения ракеты Хэллфайр (Hellfire, Адский огонь) на радиоуправляемом самолете Предатор (Predator, Хищник).

Читатель может обратить внимание на использование в приведенном определении словосочетания «действующие без участия человека» вместо ожидаемого «автономные». Замена обусловлена желанием, чтобы предлагаемый запрет охватывал и дистанционно управляемые системы, которые (хотя они и не относятся, строго говоря, к автономным системам) могут быть относительно легко и скрытно развернуты в большом количестве для проведения в дальнейшем автономных операций. Кроме этого, более широкое определение позволит избежать многих сложностей, связанных с тем, что при наблюдении «извне» очень трудно отличить автономные системы от дистанционно-управляемых.

Проблемы сложности точного определения рассматриваемых систем легко проиллюстрировать на примере известных всем крылатых ракет, которые уже широко используются вооруженными силами многих стран. С одной стороны, такие ракеты представляют собой вооруженные автоматические системы, способные достигать намеченной цели и поражать ее. С другой стороны, можно сразу отметить, что крылатая ракета летит по заранее заданному маршруту к цели и взрывается там (т.е. представляет собой оружие одноразового действия, подобное обычной баллистической ракете или, если угодно, даже простому артиллерийскому снаряду). Поэтому при переговорах о запрещении (некоторых типов) крылатых ракет[15] следует помнить об этом их существенном отличии от рассматриваемых выше вооруженных автоматических систем, для того чтобы разница не стала причиной ненужной путаницы в определениях при выработке новых соглашений.

При принятии соглашений об ограничении вооруженных автономных систем следует особо позаботиться, чтобы проектирование и создание невооруженных роботов не вызывало атмосферу подозрительности и обмана. Проблема связана со следующими техническими деталями. На достаточно крупных автономных боевых системах, имеющих размеры примерно в диапазоне от 1 м (наземные, воздушные объекты) до 100 м (крупные морские объекты), наличие вооружения

обычно можно выявить внешним осмотром с некоторого расстояния. Простое наблюдение позволяет отличить бронетранспортер (с пулеметной или орудийной башней) от обычного грузовика, боевой самолет (с подвесными бомбами или ракетными кассетами) от самолета фоторазведки, боевой корабль (с пушками и ракетными установками) от грузового судна и т.д. Понятно, что и конструкция новых автономных систем для небоевых действий (например, наземных роботов для разминирования территории или эвакуации раненых) должна ясно демонстрировать их невооруженный характер. Однако такие системы часто являются модульными (в них, например, можно легко заменить манипулятор стрелковым оружием и т.п.), вследствие чего к проектируемым автономным устройствам было бы желательно применить все ограничения и правила, давно разработанные для медицинских автомобилей в Дополнительном протоколе I Женевской конвенции 1949 года [ICRC, 1977].

Расширение запрета и включение в него всех автономных боевых систем должно устранить и любые неясности относительно невооруженных устройств. Нельзя забывать о том, что уже сейчас выпускается множество роботов (автоматически обслуживающих приборов и машин разнообразного типа, от пылесосов до газонокосилок), причем в ближайшем будущем коммерческое производство роботов будет непрерывно возрастать. Некоторые проблемы, связанные с гражданской ответственностью при использовании роботов и т.п., рассматриваются в работе [Christaller et al., 2001: Ch.5]. В этих условиях мы обязаны быть реалистами и учитывать очевидную возможность военного применения аналогичных систем и устройств, например, для решения логистических задач или проблем транспортировки грузов. В любом случае следует помнить, что возможность роботов самостоятельно применять боевое оружие всегда должна быть ограничена. Это принципиальное положение можно пояснить следующей цитатой из работы известного военного специалиста:

«...Помимо чисто технологических сложностей, общая задача повышения боевого потенциала военных роботов связана с целым набором стратегических, оперативных и этических проблем, особенно в тех случаях, когда, образно, роботы из лифтеров или грузчиков превращаются в убийц. Пугает и ужасает сама идея существования автоматического устройства, способного убивать без какого-либо прямого приказа со стороны человека, вследствие чего, кстати, даже выработка «правил ведения войны» с участием роботов представляется спорной и странной задачей, так как при этом возникает ряд

почти неразрешимых вопросов. Какой степенью автономности следует наделять робота при выборе целей для атаки? Должны ли Соединенные Штаты пытаться как-то контролировать распространение технологий, относящихся к производству роботов? Возможна ли вообще организация такого контроля, учитывая, что основное развитие таких технологий (особенно связанных с обработкой информации) будет осуществляться в гражданском секторе экономики? Является ли нашей конечной целью создание полностью «роботизированных», т.е. автоматизированных, вооруженных сил? ...и т.д.»

[Metz, 2000; см. также раздел 1.5.7]

При обсуждении проблем ограничения невооруженных автоматических систем полезно было бы обратиться к Договору об ограничении обычных видов вооружения в Европе 1990 года, пересмотренному и обновленному в 1992 и 1996 годах [CFE, 1990; кроме того, соглашение CFE-1A вводит ограничения на численность обслуживающего персонала]. К сожалению, переговоры о заключении аналогичных соглашений для других регионов мира и военно-морских вооружений в настоящее время даже не ведутся. В упомянутом Договоре для достижения «безопасного и устойчивого развития» и исключения «возможности нанесения одной из сторон неожиданного удара и развертывания широкомасштабных военных действий в Европе» вводятся ограничения вооружения армий всех европейских стран по пяти важнейшим категориям (танки, вооруженные транспортные средства, артиллерия, боевые самолеты, боевые вертолеты). Кроме этого, Договор регулирует соотношение военной техники сторон в шести других важных категориях вооружений (тренировочные самолеты вообще, невооруженные тренировочные самолеты, невооруженные транспортные вертолеты, вооруженные саперные тяжелые машины и любые боевые транспортные средства). Под ограничения не подпадают также грузовики и транспортные самолеты.

Следуя логике разработчиков этого Договора, по-видимому, не стоит вводить никаких ограничений на автоматические системы, не предназначенные специально для боевых действий (автоматические грузовые автомашины, беспилотные транспортные вертолеты и т.п.). В последнем случае для снижения опасности возможного быстрого вооружения транспортных роботов можно дополнительно рекомендовать введение ограничений на численность таких устройств у каждой из сторон. Для введения такого ограничения договаривающиеся стороны должны предварительно выработать систему классификации невооруженных роботов по нескольким категориям (транспортные, поисковые и спасательные, предназначенные для разминирования и т.д.), а затем заключить соглашение относительно верхнего потолка численности роботов в каждой из категорий. Беспилотные транспортные средства (наземные, водные и воздушные) будут создавать опасность для обычного сообщения даже в мирное время, особенно в окрестности больших городов или, например, в весьма оживленном воздушном пространстве Западной Европы. Исходя из этого, было бы разумным уже сейчас ввести *запрет на использование таких устройств в общедоступном наземном и воздушном пространстве* и размещать их только в специализированных оборонных организациях (склады, казармы, испытательные и тренировочные центры). В дальнейшем, когда автоматизированные транспортные средства и роботы гражданского назначения, возможно, получат широкое распространение и, соответственно, будут выработаны юридические нормы, регулирующие их эксплуатацию и движение, эти же нормы могут быть применены и к военным роботам.

Поскольку в настоящее время выработка международного соглашения о полном запрете вооруженных автоматических систем представляется маловероятной по политическим причинам, общественность может, по крайней мере, требовать соблюдения тех пунктов и определений упомянутого выше Договора CFE, которые непосредственно относятся к видам вооружения и транспорта. К рассматриваемым вопросам имеют отношение следующие положения и определения Договора:

«(C) Термин "боевой танк" относится к самоходным боевым машинам, снабженным тяжелым огнестрельным оружием, способным вести обстрел прямой наводкой (преимущественно с высокой начальной скоростью снарядов). Они обладают высокой проходимостью по пересеченной местности и мощной броневой защитой. Такие машины конструируются и создаются не для перевозки войск, а для борьбы с танками и другой боевой техникой противника. Боевые танки представляют собой гусеничные вооруженные устройства с минимальным порожним весом 16,5 метрических тонн и вращающейся на 360° пушкой с минимальным калибром 75 мм. Кроме этого, к боевым танкам следует относить и любые колесные вооруженные устройства, удовлетворяющие перечисленным требованиям.

....

(F) Термин "артиллерийское орудие" относится к крупнокалиберным боевым системам, способным поражать наземные средства противника преимущественно стрельбой с непрямой наводкой. Такие

системы в основном предназначаются для огневой поддержки (при стрельбе с непрямой наводкой) действий других вооруженных средств.

К крупнокалиберным артиллерийским орудиям относятся пушки, гаубицы, комбинированные артиллерийские системы (сочетающие характеристики пушек и гаубиц), минометы и многоствольные реактивные установки с калибром 100 мм и выше. Кроме того, к этому же классу следует в будущем относить любые крупнокалиберные установки с прямой наводкой, если в качестве побочного эффекта она обеспечивают поражение сил противника в результате стрельбы с непрямой наводкой.

...

(K) Термин "боевой самолет" относится к любым летательным аппаратам (с фиксированной или изменяющейся геометрией крыла), оборудованным для поражения целей управляемыми и неуправляемыми ракетами, бомбами, пушками, пулеметами и другими поражающими средствами. Под определение подпадают также любые модели и модификации таких аппаратов, способные выполнять иные военные задачи (например, разведывательные операции или ведение элетронной войны).

Термин "боевой самолет" не относится к учебным аппаратам, предназначенным для начальной летной подготовки личного состава».

[CFE, 1990; Art.II]

Под приведенные определения подпадают многие транспортные роботы, напоминающие традиционные устройства, вследствие чего их можно даже прямо включать в число соответствующих единиц оружия, разрешенного условиями Договора[16]. В частности, категории CFE могут быть применены к более легким десантным машинам с меньшим калибром оружия, боевым машинам с тяжелым вооружением, боевым машинам пехоты и бронетранспортерам[17]. Конечно, некоторые будущие типы транспортных средств и роботов будут выпадать из классификации условий Договора (например, боевые танки весом менее 16,5 метрических тонн с электромагнитной пушкой калибром менее 75 мм или «шагающие» боевые роботы размером с человека), однако для таких видов оружия можно будет ввести дополнительные категории с соответствующими ограничениями.

Кроме того, следует стремиться к заключению аналогичных договоров, имеющих больший масштаб и охватывающих большее число категорий оружия. Если использование автоматических боевых машин не удастся запретить полностью, то вскоре вполне может начаться

их использование в качестве носителей ядерного оружия (появятся не только беспилотные бомбардировщики, но и, возможно, автоматические подводные лодки, подвижные системы запуска межконтинентальных ракет, артиллерийские установки и т.п.). Специалистам по разоружению следует добиваться (в качестве минимальной меры ограничения) запрета на *развертывание любых качественно новых средств доставки ядерного оружия*, что исключило бы, например, появление в будущем «шагающих» роботов, доставляющих атомную бомбу к намеченной цели. Кроме этого, нужно постоянно стремиться к тому, чтобы прямой контроль над использованием и перемещением ядерного оружия осуществлялся людьми, а не передавался автоматическим устройствам.

Смирившись с неизбежным развитием и использованием автономных боевых устройств в близком будущем, необходимо хотя бы строго ограничить возможность автоматов принимать решение о применении оружия против некоторых специфических целей, исходя из того, что наиболее дестабилизирующим фактором новых видов оружия является именно их автономность, и учитывая, что первые поколения автоматов наверняка будут несовершенными и не смогут точно следовать международным законам ведения военных действий. Поэтому еще раз подчеркну, что *контроль за выбором целей и непосредственное решение о применении оружия должны сохраняться за людьми* хотя бы с использованием дистанционного управления. Очевидно, что выполнение этого важного условия будет постоянно осложняться по мере увеличения общего числа военных роботов и вооруженных беспилотных установок, непрерывно следящих друг за другом и готовящихся к нанесению ударов. Осознание этого факта должно стать убедительным доводом для обоснования скорейшего введения строгих ограничений на численность таких устройств, включая микророботы и малые системы (см. раздел 6.4.5).

С другой стороны, преимуществом предлагаемых ограничений (строгое ограничение на применение ядерного оружия, более слабое – на выбор цели) является то, что они не будут сдерживать почти неизбежное бурное развитие робототехники общего назначения в гражданском секторе. Проблемы, связанные с использованием автономных систем полицией и т.п., не являются принципиальными, так как современное гражданское общество имеет серьезные средства и методы ограничения излишней механизации и автоматизации правоохранительной системы. Проверка выполнения запрета на беспилотные вооруженные мобильные системы может осуществляться ви-

зуальным контролем при инспекциях на месте или при наблюдениях за военными учениями сторон. Размеры таких систем (или контейнеров для их хранения) позволяют достаточно легко обнаруживать их визуально с расстояния в несколько метров. Кроме этого, контроль можно осуществлять и национальными техническими средствами, а также, как показал опыт проверки выполнения условий Договора CFE (и других начиная с 1987 года), за счет регулярного обмена информацией по запасам и характеристикам вооружений между участниками соглашения. При использовании комбинации этих средств проверки неожиданные инспекции становятся необходимыми лишь в исключительных случаях и для очень небольшого числа типов оружия. Безусловно, было бы полезно распространить действие полного запрета и на стадии разработок и испытаний.

Очень сложной (во многих случаях практически невыполнимой) задачей остается проверка соглашений о сохранении дистанционного контроля человека-оператора над боевыми автоматическими устройствами, поскольку управление такими устройствами может легко перестраиваться, а контроль программного обеспечения вмонтированных в оружие систем управления представляется пока неприемлемым «раскрытием» военных секретов. Однако эта проблема не является принципиальной, так как, например, многие международные законы ведения военных действий также практически не поддаются контролю. Смысл многих соглашений подобного рода состоит скорее в формировании некоторых общих норм поведения государств и правительств.

6.4.5. Мини/микророботы

Многие доводы и рассуждения предыдущего раздела могут быть отнесены и контролю за развитием мини- и микророботов, однако в этом случае существует и ряд весьма сложных и специфических проблем, обусловленных тем, что такие устройства могут производиться в огромных количествах и имеют исключительно малые размеры (некоторые роботы обсуждаемого класса нельзя увидеть невооруженным глазом при обычном наблюдении). Однако именно малые и сверхмалые боевые или невооруженные роботы (включая биотехнические гибриды) вызывают особые опасения, причем как с военной, так и с гражданской точки зрения, вследствие чего (независимо от очевидной практической ценности таких устройств) следует добиваться возможно более полного и строгого запрета на развитие и внедрение этого качественно нового класса систем.

При выработке четких определений для заключения договоров и условий их проверки не следует, по-видимому, исходить из сложных понятий, связанных с внутренним строением микророботов (например, из типа используемых в них компьютеров, датчиков и приводов, создаваемых на основе НТ) или степенью их автономности. Гораздо более удобным и рациональным подходом для определения и классификации этих миниатюрных (но очень сложных устройств) представляется использование простых и легко наблюдаемых внешних характеристик, особенно подвижности и размеров. Некоторые особенности и механизмы, связанные с подвижностью роботов, можно различить при визуальном наблюдении (например, наличие колес, гусениц или «ног»). В отдельных случаях механизмы движения могут быть «спрятаны» внутри конструкции, но обнаруживаются при наблюдении за работой робота под микроскопом (например, микроробот может «прыгать», используя быстро выдвигающиеся из «внутренностей» микростержни и т.п.). Все армии мира имеют богатейший опыт работы с крупными беспилотными и автоматическими устройствами, размеры которых превышают 1 м (роботы, автоматические устройства, торпеды, глубоководные опускаемые аппараты, батискафы, крылатые ракеты, беспилотные самолеты-разведчики и многое другое) и широко используют их во всех родах войск. Такое широкое распространение автоматических устройств, естественно, весьма осложняет проблему введения сколь-нибудь общего запрета на применение роботов, поскольку было бы нереальным ожидать отказа государств от уже принятых на вооружение и ставших привычными видов вооружения.

В этой ситуации будет разумнее просто выделить роботы, размеры которых не превышают 1 м, в отдельный класс и выработать по отношению к нему особые требования. Далее, во избежание неясностей, следует ограничить размеры микророботов каким-то определенным значением меньше 1 м (например, можно выбрать величины 0,5 или 0,2 м), достаточным для обнаружения при обычной визуальной проверке. Выбор значения диктуется и тем, что возможность «тайного» осуществления технологического скачка в этом случае кажется маловероятной. Например, трудно представить себе быстрый технологический переход размеров устройств от 0,5 м до гораздо меньшего значения ~ 1 мм (по крайней мере, для полностью искусственных механизмов, не использующих биологические объекты и т.п.). Тем не менее, как только микроскопические мобильные системы начнут применяться в коммерческих целях, инспекторам должно быть раз-

решено пользоваться при проверке микроскопами (впрочем, поскольку в ближайшие годы может начаться имплантация устройств в организм насекомых, изучение устройств под микроскопом следовало бы узаконить с самого начала).

Безусловно, следует учитывать и вероятность того, что в конечном итоге возможности микророботов для использования в боевой обстановке окажутся в целом значительно ниже ожидаемых (например, из-за малой скорости, малого радиуса действия или ограниченности боевого снаряжения и грузоподъемности), т.е. может оказаться, что опасности их применения значительно превышают планируемые преимущества. Например, воздушная разведка может гораздо эффективнее осуществляться не микроустройствами, а уже существующими беспилотными самолетиками значительно больших размеров. Аналогично, весьма вероятно, что в операциях по разминированию и поиску раненых, оказанию им помощи и т.д. достаточно крупные системы (возможно, имеющие длину более 1 м) окажутся гораздо более полезными и эффективными благодаря повышенной грузоподъемности и большему радиусу действия.

Разнообразные и перспективные возможности использования мини- и микророботов в гражданском секторе экономики рассматриваются в работе [Altmann, 2001: раздел 7.2 и приводимые в ссылках источники], однако и в этой области микророботы по удобству использования и эффективности нередко уступают более крупным устройствам (с размерами 0,5–1 м). В качестве характерных примеров применения роботов для гражданских целей можно указать следующие:

- дистанционное обследование районов чрезвычайного положения;
- контроль содержания загрязняющих веществ в окружающей среде;
- наблюдение за погодой с помощью воздушных метеорологических шаров;
- слежение за численностью и поведением биологических популяций.

Кроме того, роботы с успехом могут использоваться для решения некоторых чисто полицейских и административных задач:

- контроль и управление дорожным движением;
- контроль и охрана государственных границ от нелегального пересечения;
- выявление контрабандной перевозки веществ и товаров;
- скрытое отслеживание ситуации при чрезвычайных обстоятельствах (захват заложников, криминальные расследования и т.п.).

Во всех перечисленных случаях применение микророботов представляется вполне оправданным и законным, хотя, конечно, следует отметить, что их производство в больших количествах и широкое внедрение неизбежно приведут позднее к проблемам, связанным с правами человека и вмешательством в частную жизнь граждан. Злоупотребления можно предупредить либо полным запретом на использование таких устройств, либо введением строжайших количественных и качественных ограничений на их функциональные возможности.

Из других гражданских применений мини- и микророботов стоит отметить лишь несколько перечисленных ниже специфических областей, в которых роботы размером менее 0,2–0,5 м имеют явные преимущества перед более крупными устройствами или являются незаменимыми (в скобках приводятся оптимальные размеры роботов, предназначенных для выполнения указанных конкретных задач):

- исследования Луны, планет и астероидов (10–50 см);
- изучение состояния поврежденных и разрушенных зданий в зонах чрезвычайных ситуаций, например после землетрясения или взрыва (5–20 см);
- изучение состояния внутренних помещений зданий при возникновении опасных ситуаций типа пожара, химического загрязнения и т.п. (5–20 см);
- изучение состояния узких трубопроводных систем (0,5–10 см);
- роботы для микрохирургических операций, способные перемещаться и действовать внутри человеческого организма (0,1–1 мм);
- роботы-игрушки (5–50 см);
- предметы художественного и специального назначения (< 1 мм–50 см).

Перечисленные выше применения роботов не должны создавать никаких практических препятствий для заключения соглашений относительно ограничения или запрета таких микроустройств, так как почти все применения носят специфический и редкий характер. Например, количество роботов, необходимое для исследований или работы на удаленных небесных телах типа астероидов, должно быть очень небольшим, не говоря уже об их конструкционных особенностях (легкость, хрупкость), вследствие чего выработка условий контроля для таких особых и редких устройств не должна быть трудной. Гораздо более сложной является проблема предполагаемого создания и использования «роев» исследовательских микророботов, летающих или «ползающих» по поверхности Луны или планет, так как коммер-

ческое производство большого числа таких микроустройств не только понизит их стоимость, но и, весьма вероятно, приведет к их незаконному использованию на Земле.

Особого внимания требуют и роботы, предназначенные для изучения состояния поврежденных и разрушенных зданий, пожарных работ и т.п. Приведенные для них размеры (~ 5 см) определяются тем, что более мелкие устройства будут легко повреждаться огнем, воздушными потоками и другими неблагоприятными условиями предполагаемой работы. В качестве исключения, возможно, следует разрешить производство ограниченного числа роботов размером 5–20 см для снабжения пожарников и работников других спасательных служб. Еще проще обстоит дело с соглашениями по ограничению роботов, производимых для контроля состояния или ремонта трубопроводов и т.п., поскольку таким роботам по условиям работы совершенно не требуется высокая подвижность, что позволяет сразу ограничить их возможности и избежать опасности несанкционированного применения. Аналогичные доводы и рассуждения применимы и к медицинским роботам, причем их развитие может быть непосредственно увязано с требованиями военной медицины.

Возможно, наиболее сложной проблемой станет контроль за развитием микроустройств в двух последних указанных областях (игрушки, художественные и любительские произведения). Сам факт использования малых роботов-автоматов в качестве детских игрушек уже в настоящее время создает столько опасных и сложных ситуаций, что необходимость их ограничения по всем параметрам (мобильность, способность к восприятию и действию, автономность) представляется почти очевидной. Для предотвращения разнообразных злоупотреблений и преступлений необходимо остановить хотя бы прогрессирующее уменьшение их размеров и запретить, например, производство любых игрушек-автоматов размером менее 20 см. В эту категорию попадают автоматические «зверушки» и куклы, но производителям игрушек придется, по-видимому, как-то смириться с предлагаемыми ограничениями, если общественность выскажет свое мнение и подкрепит его вескими аргументами. Труднее всего будет организовать контроль над появлением автоматов, представляющих собой художественные произведения, украшения или просто нестандартные изделия, создаваемые мастерами-одиночками или любителями (известно, например, что студентам всегда нравилось конструировать необычные модели, сверхмалые роботы и т.п.). Создание и непрерывное совершенствование разнообразных микроустройств,

авиамоделей с автоматическим управлением и т.п. продолжается уже десятилетиями[18], как и развитие все более сложных игр с участием микророботов, в результате чего созданы игрушечные футболисты самых разных размеров (от 0,1 до 1,2 м). Уже сейчас, исходя просто из соображений здравого смысла, некоторые устройства такого типа законодательно ограничивают во многих странах (например, запрещено использование авиамоделей в центрах крупных городов, вблизи аэродромов и т.п.), а в дальнейшем, по мере появления все более многочисленных и более сложных автоматов, общество будет все чаще сталкиваться с необходимостью регулирования и ограничения их применение. Во избежание недоразумений закон не должен допускать никаких исключений для «любительских» роботов, так что любое использование (вне дома или лаборатории) любых автоматических устройств с размерами меньше установленных законом (например, 0,2 или 0,5 м) должно быть запрещено. Конечно, некоторые конструкторы-любители будут нарушать вводимые ограничения, но против них можно будет применять обычные меры наказания (штрафы и т.д.), определенные законом.

За исключением медицины (особенно хирургии), на ближайшие два десятилетия почти невозможно указать какую-либо область деятельности в гражданском секторе экономики, в которой могут представлять ценность микророботы с размерами менее 1 мм. Стоит подчеркнуть, что и введение внутрь человеческого организма микро- и нанороботов для медицинских целей создает множество сложных этических и юридических проблем. Применение гипотетических молекулярных систем в качестве оружия подпадает под действие Конвенции о запрещении химического оружия (см. раздел 6.4.7), поэтому их любое гражданское использование должно тщательно регулироваться строгими правилами. К счастью, развитие молекулярных технологий пока не является реальной проблемой, и эти ограничения можно обсуждать чисто теоретически.

Из сказанного вытекает необходимость *полного запрета любых малых, мобильных и (частично) искусственных систем*[19] *меньше определенного размера (лежащего в диапазоне 0,2–0,5 м) как в гражданском, так и в военном секторах экономики*, независимо от степени их автономности и сочетания биологически-технических составных элементов[20]. Запрет должен относиться как к разработке, так и к испытаниям всех таких систем. При этом он автоматически (по умолчанию, как говорят юристы) распространяется и на все системы меньших размеров, что, кстати, позволило бы разрешить и спорную проблему использо-

вания мини/микророботов в качестве «суррогатов» запрещенных видов противопехотных мин[21].

Любые исключения из предлагаемого запрета должны быть точно оговорены и максимально ограничены. В гражданском секторе к исключениям могут быть отнесены лишь упомянутые выше автоматы указанного типа (мини/микророботы для проведения спасательных работ, контроля за состоянием разрушенных и поврежденных зданий в опасных зонах и т.п.). Самодельные роботы и роботы-игрушки также должны обязательно подпадать под действие предлагаемого запрета. Военные применения должны быть ограничены лишь использованием микророботов в хирургии.

Разумеется, перечисленные исключения не должны быть использованы для обмана и нарушения основной идеи заключаемых соглашений (а именно – обеспечения военной безопасности и предотвращения несанкционированного использования таких устройств в общественной жизни), вследствие чего любые испытания гражданских мини/микроробота дополнительно должны быть обусловлены строгими техническими и лицензионными ограничениями. В качестве основных мер контроля можно предложить следующие ограничения (конкретные требования определяются целями планируемого использования роботов):

- снижение степени автономности роботов, что может быть достигнуто, например, постоянным использованием дистанционного управления, а в тех случаях, когда работа робота требует самостоятельных действий (в случае чрезвычайных обстоятельств или потери связи), эти действия должны быть ограничены как по возможностям, так и по продолжительности;
- снижение радиуса действия роботов (для большинства предполагаемых работ удаление от человека-оператора должно составлять около 100 м);
- ограничение скорости;
- обсужденное выше ограничение минимальных размеров;
- ограничение мощности и емкости собственных источников питания робота (для этого, например, можно использовать кабельную систему электропитания, микроволновые или индукционные системы и т.п.);
- контроль деятельности и целей организаций, использующих роботы;
- ограничение максимального числа применяемых роботов.

Проверка выполнения условий общего запрета и перечисленных ограничений (в тех исключительных случаях, когда использование роботов разрешается) может осуществляться инспекцией на месте в военных организациях, испытательных центрах и т.п. Естественно, что поиск и обнаружение сверхмалых объектов (например, минироботов размером менее 1 мм) представляют собой очень сложную задачу, и инспекция не может ограничиваться простым визуальным контролем, вследствие чего необходимо с самого начала оговорить использование инспекторами микроскопов (по крайней мере, оптических, а при необходимости также сканирующих). В некоторых случаях (например, при одновременном дополнительном контроле выполнения условий Конвенций по химическому и биологическому оружию) инспектирующая сторона должна быть также снабжена молекулярно-специфическими датчиками и реагентами, способными обнаруживать генетическую модификацию биоматериалов. При подозрениях или свидетельствах о нарушении запрета на стадии разработки и испытаний инспекционные проверки должны производиться и в соответствующих организациях. Следует особо отметить, что отсутствие прямого запрета на испытания не должно избавлять исследовательские организации от проверок, поскольку проведение испытаний может иногда осуществляться и непосредственно в лабораториях.

Так как почти все указанные выше исключения относятся к использованию роботов в гражданском секторе экономики, права контроля и инспекции должны относиться и к промышленным предприятиям, где такие проверки должны осуществляться во взаимодействии с правоохранительными органами. Проверке должны подвергаться также биологические лаборатории, способные осуществлять эксперименты с насекомыми, мелкими животными и т.п., так или иначе связанными с НТ. В систему контроля должен входить и мониторинг общественной жизни и средств массовой информации по всем вопросам, относящимся к рассматриваемой проблеме.

6.4.6. Микроспутники и средства их запуска

Выше уже упоминалось об опасностях, связанных с возможным использованием новых видов космических вооружений[22]. Простейшим средством предотвращения будущих неприятностей мог бы стать запрет на запуск микроспутников или малых спутников (т.е. таких, размеры которых будут меньше некоторого установленного уровня), однако этому препятствуют два следующих обстоятельства. Во-первых,

нельзя забывать о возможной полезности таких спутников в гражданском секторе экономики, а во-вторых, такой запрет как бы разрешает использование более крупных боевых спутников. Формально в космосе не должно существовать никакое оружие[23], вследствие чего будущие запреты должны носить качественный характер и относиться к более общим категориям, а не только к микроспутникам. Наилучшим решением, позволяющим предотвращать дестабилизацию международной напряженности и военные действия в космосе, стал бы *всеобъемлющий запрет на все типы космического оружия, включая их разработку и испытания*[24]. Такое соглашение не относилось бы к коммерческим запускам гражданских малых спутников и военных спутников без оружия на борту. Опасность боевого использования невооруженных малых спутников (например, для атак на более крупные космические аппараты противника) можно предотвратить, введя строгие ограничения на их число, а также на права близкого сближения со спутниками других стран.

Проверка выполнения условий такого соглашения может осуществляться как наземными средствами наблюдения (радары, оптические приборы), так и оговоренным правом инспекции перед запуском. Дополнительную информацию, естественно, можно будет получить позднее наблюдениями в космосе.

Большую безопасность мог бы гарантировать полный запрет на запуск любых микроспутников, но при этом были бы потеряны многие преимущества и выгоды, связанные с их использованием в гражданских целях. Многие из таких применений являются очень ценными, поэтому желательно, чтобы «космические» державы заключили между собой (лучше всего в рамках деятельности и под эгидой ООН) достаточно детальное соглашение, регулирующее число, орбиты и методы запуска таких микроспутников, а также процедуры взаимного уведомления, лицензирования и проверки. В противном случае международные отношения будут постоянно нарушаться взаимной подозрительностью и нестабильностью[25].

В предлагаемое выше соглашение, безусловно, должны быть както включены и соответствующие средства запуска, связанные с легитимностью функционирования таких космических аппаратов. Во избежание недоразумений и двусмысленностей, связанных с определением малых ракет иного назначения (см. раздел 6.4.2), следует ввести в соглашение пункты, разрешающие проверку испытаний используемых ракет или средств запуска военных и гражданских микроспутников непосредственно в космосе.

6.4.7. Новые виды химического и биологического оружия

Разработка новых видов химического и биологического оружия с использованием НТ станет, безусловно, открытым нарушением Конвенции по химическому оружию (CWC) и Конвенции по биологическому оружию и токсинам (BTWC), являющимся основополагающими в указанных областях [CWC, 1993; BTWC, 1972]. Поскольку в настоящее время такие новые типы оружия практически еще не созданы, они будут представлять собой качественно новый виток развития в данной области. Самой разумной рекомендацией является предложение о сохранении обеих Конвенций, ужесточении их условий и придании им более универсального и общего характера.

В Конвенции CWC необходимо последовательно расширить смысл уже содержащихся в ней положений относительно использования результатов изучения опасных молекулярно-биологических механизмов, а также синтеза потенциально новых препаратов (речь идет о Перечнях 1–3 в Приложении о химических веществах). Используемые в Конвенции (статья II) функциональные определения вполне применимы к новым агентам и не нуждаются в пересмотре или изменении:

«1. Термин "химическое оружие" означает (раздельно или совместно) следующее:
   (a) токсические химические вещества или их прекурсоры (предшественники, полупродукты), за исключением тех, которые используются в целях, не запрещенных данной Конвенцией (если их виды и количества соответствуют этим целям);
   (b) снаряжения и устройства, специально сконструированные для убийства или нанесения иного вреда с использованием токсических (отравляющих) свойств токсических веществ, определенных в параграфе (a), что проявляется именно при применении такого снаряжения и устройств;
   (c) любое иное снаряжение и устройства, специально сконструированные для прямого использования при применении снаряжения и устройств, определенных в параграфе (b).
2. Термин "токсическое (отравляющее) вещество" означает:
   любое вещество, которое своим химическим воздействием может привести к смерти или нанести временный или постоянный ущерб организму людей или животных. Определение включает любые вещества такого типа, независимо от их происхождения и метода

производства, а также независимо от того, производятся ли они с использованием оборудования, снаряжения или каким-либо иным способом. (Токсические вещества, отравляющее действие которых уже доказано и к которым применима данная Конвенция, указываются в Перечнях, приводимых в Приложении о химических веществах.)

3. Термин "прекурсор" (предшественник, полупродукт) означает: любой химический агент, участвующий в какой-либо стадии в любом методе получения токсического вещества. Термин включает в себя и любой основной компонент любой бинарной или многокомпонентной химической системы. (Прекурсоры, действие которых уже доказано и к которым применима данная Конвенция, указываются в Перечнях, приводимых в Приложении о химических веществах.)»

[CWC, 1993: статья II]

Используемый в параграфе 1(а) критерий основан на определении общей цели. Отметим также, что в параграфе 2 определена токсичность только по отношению к людям и животным, вследствие чего химическое воздействие на растения и оборудование не подпадают под юрисдикцию Конвенции CWC. Таким образом, новейшие типы создаваемого на основе НТ оружия указанного класса могут подпадать под действие Конвенции только в том случае, если они будут признаны «химическими веществами», а наносимый ими ущерб будет связан с «химическим воздействием». Эти положения сразу вызывают явные сомнения относительно некоторых супрамолекулярных систем (типа описанных ранее наномашин), которые могут воздействовать на компоненты биоклеток чисто механически, электрически или термически. Такое разночтение может «подорвать» смысл Конвенции CWC, вследствие чего указанные определения нуждаются в поясняющей интерпретации. Например, в определение следует ввести прямое указание, что любое взаимодействие с агентами, размеры которых меньше размеров клеток, также должно считаться химическим воздействием (именно такая интерпретация будет предложена в 2008 году на очередной конференции по пересмотру и уточнению Конвенции).

Кроме этого, существуют и проблемы с определением принадлежности некоторых новых веществ и производимых ими воздействий. Например, не совсем понятно, насколько законно исключение, вводимое для применения некоторых веществ при подавлении и контроле «бунтов»? Какие массовые беспорядки следует считать бунтом?

При каких нарушениях общественного порядка применение этих веществ (особенно если их боевое использование запрещено) становится оправданным?

Средства и методы проверки Конвенции CWC, перечисленные в Приложении по проверке и применению (декларации, инспекции, оборудование, датчики, хранение образцов, соглашения о проверке производств и т.п.), представляются вполне достаточными и для новых видов веществ.

Конвенция по биологическому оружию и токсинам (BTWC) является более общей, что отражено в ее первой, основополагающей статье:

«Каждое из государств, подписавших данную Конвенцию, обязуется никогда и ни при каких обстоятельствах не разрабатывать, не производить, не приобретать и не хранить в любой форме следующее:

(1) микробы или другие биологические агенты или токсины (независимо от их происхождения и методов производства) такого типа и в таком количестве, которые не оправдываются профилактическими, защитными и мирными целями;
(2) оружие, оборудование и средства применения, созданные для использования таких агентов или токсинов во враждебных действиях или при военных конфликтах».

[BTWC, 1972: Art. I]

Как и в предыдущем случае, критерий параграфа (1) основан на определении общей цели, однако он не ограничивает (подобно Конвенции CWC) типы подвергаемых воздействию объектов, в результате чего BTWC относится не только к людям и животным, но и растениям или оборудованию (кроме того, Конвенция BTWC не делает никаких исключений, относящихся к подавлению бунтов). Таким образом, под действие этой Конвенции подпадают все новые биологические агенты и токсины, которые могут быть созданы с использованием методов НТ. Некоторые сомнения могут возникнуть лишь по поводу создания биотехнических (биологически-технических) гибридов, «искусственных микробов» и наномашин тех видов, которые будут иметь полностью небиологическое происхождение. Для того чтобы не «подрывать» основы Конвенции, в нее необходимо ввести, по крайней мере, дополнительные разъяснения и поясняющие толкования. Например, текст следует дополнить утверждением, что она относится также к гибридным и искусственным системам, которые могут вводиться внутрь организма (такое поясняющее толкование

6.4.8. Молекулярные НТ

Развитие молекулярных НТ (если они когда-нибудь действительно возникнут) будет означать качественные изменения систем оружия, вследствие чего оно не должно привести к какому-либо изменению уже существующих превентивных ограничений. Реализация МНТ будет иметь огромное значение, так как в этом случае потребуется очень быстро выработать превентивные меры против потенциальных опасностей, перечисленных выше, в разделе 6.2. В список опасностей входит подрыв всех существующих систем контроля и разоружения, создание необычных видов вооружений, беспрецедентная дестабилизация международной обстановки, причем опасности могут возникнуть даже в результате действий отдельных лиц, в руки которых попадут новые технологии (например, самовоспроизводящиеся автоматы и т.п.). Более того, именно гражданским и демократическим сообществам будет очень сложно предотвратить возникающие проблемы или бороться с ними[26].

Будет очень трудно организовать какие-либо меры превентивного контроля над развитием новых технологий, если международному сообществу не удастся создать некую новую форму руководства (подобную той, которую играет государство в гражданском обществе) и сохранится нынешняя ситуация, при которой в демократических государствах действуют международные террористические организации. Основная проблема заключается в том, что степень доверия, необходимая для обеспечения надежной проверки, должна соответствовать критериям гражданского общества, но это требование в рассматриваемом случае противоречит принципу сохранения высших военных и государственных секретов (если предположить, что развитие новых технологий будет осуществляться по наиболее опасным сценариям). С другой стороны, следует учитывать и то, что отказ от сотрудничества грозит возникновением новой гонки вооружений (не имеющей качественных и количественных аналогов в истории), вследствие чего политические решения на самом высшем уровне, возможно, являются последним шансом для всего человечества.

Принципиальным решением для мирового сообщества стало бы введение контролируемого международного запрета на развитие некоторых технологий (универсальных молекулярных ассемблеров и программ их действия, роботов-гуманоидов и т.п.). Легко осознать сложность введения такого запрета, представив себе трудности регулирования и эффективность административных мер ограничения

молекулярных НТ в пределах отдельного государства[27], поскольку законы будут неизбежно нарушаться вследствие конкуренции различных фирм-производителей, государственных организаций и ведомств, не говоря уже о криминальных группировках и т.п.

Из приведенных рассуждений представляется очевидным, что эффективное ограничение возможного развития МНТ может быть достигнуто лишь решительными действиями (одновременно в гражданской и военной сферах). Более того, такие действия должны иметь не национальный, а международный характер и масштаб. Молекулярные НТ и связанные с ними концепции имеют настолько фундаментальное значение, что их обсуждение нужно предварить следующими столь же фундаментальными вопросами:

- Способно ли вообще человечество «управлять» столь опасными технологиями или ему разумнее последовать приведенным выше рекомендациям Б. Джоя, т.е. полностью прекратить всякие исследования в опасных областях познания (например, в некоторых областях генной инженерии, робототехнике и т.п.) и сосредоточить все свои усилия на более простых и практичных (см. раздел 1.5.5) направлениях?

Ответить на этот вопрос совсем не просто. Ограничение исследований может показаться многим вполне разумным и даже привлекательным (учитывая, например, печальный опыт экспериментов по манипулированию человеческими эмбрионами), однако нельзя забывать и тот очевидный факт, что развитие науки и технологии определяется весьма мощными факторами. В конце концов, следует учитывать, что расходы на НИОКР определяются вовсе не законами природы (или интересом к этим законам), а весьма мощными политическими организациями и целями. В частности, технологически развитые государства могут позволить себе «замедлить» гонку вооружений, а их поведение может служить, с учетом многих обстоятельств, примером для других стран.

- Могут ли требования контроля и проверки военного применения МНТ быть согласованы с уровнем соблюдения законности в гражданском сообществе?

На этот вопрос будет почти невозможно ответить до тех пор, пока национальная безопасность отдельных государств будет непосредственно связана с их собственными вооруженными силами.

- А теперь давайте попробуем рассмотреть проблему с «обратной стороны». Возможно, развитие новых и мощных технологий позволит нам упорядочить международные отношения на каком-то новом, более высоком уровне? Возможно, именно это позволит ввести новые взаимоотношения, подобные тем, которые уже существуют между цивилизованными, демократическими государствами (см. раздел 7.4)?

На протяжении всей человеческой истории изменения в технике (образно говоря, «технологические волны») всегда приводили к существенным изменениям в социальной структуре общества и межгосударственных отношений. Достижения современной науки (например, информационные технологии и Интернет) очевидно способствуют так называемой глобализации и возникновению мировой системы управления, вследствие чего все достижения НТ, биотехнологий, информационных технологий и т.п. (включая в этот список возможные молекулярные НТ) могут быть использованы для того, чтобы государства и народы «свыклись» с идеей необходимости более сильного взаимодействия и международного сотрудничества в области законодательства, уголовного права и юридической ответственности.

Возможности или превентивные ограничения молекулярных НТ являются настолько открытыми и доступными, что даже не стоит их обсуждать. Эти технологии начнут очень бурно развиваться с того момента, когда получат хоть какое-нибудь реальное воплощение, после чего их военно-экономическое значение даже трудно предсказать. Быстрое и неожиданное развитие этих новых технологий «сорвет» любые переговоры в этой области, поэтому международное сообщество должно выработать к этому моменту вполне разумные и систематические предложения по превентивному ограничению развития МНТ. Положение облегчается тем, что развитие МНТ представляет собой серьезнейшую проблему именно для цивилизованных сообществ, что должно заставить развитые страны внимательно оценить общие вопросы развития технологий и их возможного ограничения. Самым разумным подходом к проблеме МНТ в этой ситуации представляется предварительная выработка строгих законодательных актов относительно предлагаемых ограничений с учетом всех возможных практических приложений военного и гражданского характера. Разработчики таких соглашений должны исходить из того, что любые, самые небольшие «неопределенности» в договорах могут позднее привести к нарушению ограничений.

В качестве самых неотложных мероприятий по выработке разумных решений можно предложить провести исследования в следующих направлениях:

- возможность реального создания МНТ;
- временные рамки различных предполагаемых приложений МНТ;
- оценка опасности возможных военных приложений МНТ;
- оценка проблем, связанных с технологиями двойного назначения, и взаимоотношений между военным и гражданским секторами экономики;
- разработка возможных превентивных ограничений для военных и гражданских приложений;
- выработка методов и технических средств проверки военных и гражданских приложений.

Перечисленные вопросы и проблемы должны быть тщательно проанализированы в ближайшее время, но, разумеется, их решение зависит прежде всего от того, будут ли реально созданы МНТ и каковы в этом случае возможные сроки их внедрения.

6.5. Мета-аспекты проблемы превентивного контроля вооружений

В этом коротком разделе представлены некоторые соображения и доводы, связанные с проблемами превентивного контроля вооружений. Утверждения носят весьма общий характер, вследствие чего автор и называет их мета-аспектами проблемы. Предлагаемые ниже тезисы и вопросы, естественно, относятся в первую очередь к оценке критериев, на основе которых должны быть выработаны меры превентивного контроля вооружений.

1. Предложенный в разделе 5.2 набор критериев представляется достаточно удобным и разумным, однако он нуждается в некоторых дополнениях и уточнениях:
   - Критерий (II.2), относящийся к гонке вооружений, практически применим почти ко всем военным приложениям. В каждом конкретном случае он должен быть как-то связан с реальными разработками, а его ужесточение необходимо лишь в ситуации исключительно опасного развития процесса гонки вооружений. Понятно, что развитие любой новой технологии, повышающей эффективность какого-то вида

наступательного или оборонительного оружия, является стимулом для начала гонки вооружений в данной области. Соревнование носит неявный характер лишь тогда, когда новые технологии относятся к вспомогательным службам (например, к повышению эффективности ремонтных работ и т.д.). Критерий не представляется излишним или избыточным. Он имеет особое значение, когда переговаривающиеся стороны обладают примерно одинаковым военным потенциалом и действительно стремятся избежать военного конфликта (в этом случае стороны обычно осознают, что гонка вооружений не изменит ситуацию, а только выведет противостояние на качественно более серьезный и опасный уровень). Стороны могут договориться о взаимном отказе от новых видов вооружения даже не по политическим соображениям (стремление к сохранению стабильности отношений), а просто из желания избежать очевидных экономических проблем, возникающих при любом новом витке вооружений. С другой стороны, разумеется, развитие технологий не может быть остановлено, так как технический уровень оснащения вооруженных сил любой страны не может быть искусственно «снижен» относительно общего уровня, соответствующего данной стране.

- Примерно такие же аргументы могут быть отнесены и к критериям группы (II.3), касающимся опасностей для всего человечества и связанных с этим проблем.
- Возможно, было бы полезным разделить этот набор критериев на два, т.е. выделить в отдельные группы соображения, касающиеся сохранения человечества/гуманности и окружающей среды/стабильности развития.

2. Естественно, что наибольшую опасность представляет развитие наступательных видов оружия, однако неясно, следует ли «заострять» связанный с этим критерий (т.е. дополнительно подчеркнуть преимущества оборонительных структур и оборудования) или предлагаемые формулировки являются достаточными?
3. Оценка технологий по трехбалльной системе (– , 0, +) является, конечно, весьма грубой и не отражает многих особенностей. Можно ли предложить более дифференцированную шкалу оценки или любая такая схема всего лишь будет казаться более точной, поскольку все рассуждения носят пока качественный характер?

4. Любая дискуссия на тему «манипуляций с человеческим организмом» в армии подводит нас к более общей проблеме соблюдения прав человека по отношению к военнослужащим. Имеют ли право солдаты и офицеры отказываться от инъекций, биохимических воздействий, вживления имплантантов и т.п.? Должно ли такое право получить международный статус?
5. Введение всеобъемлющих ограничений и методов контроля в области новейших достижений НТ неизбежно приведет и к каким-то ограничениям некоторых систем и видов военной деятельности, строго говоря, не являющихся специфическими для НТ.
6. Некоторые из приводимых рекомендаций не являются специфическими для НТ, а относятся к уже заключенным договорам по контролю различных видов оружия (например, к Конвенциям CWC и BTWC) или к договорам, необходимость которых обсуждается уже давно (запрет на вывод оружия в космос). Как и при обсуждении всех других качественно новых видов технологий, использование превентивных ограничений на теоретически возможные приложения должно осуществляться таким образом, чтобы важность общеполитической проблемы (а именно введения разумных ограничений на уровень вооружений) стала очевидной для широкой общественности.
7. Основное внимание при выработке критериев и обсуждении уделялось наиболее опасным (как представляется на сегодняшний день) военным приложениям НТ, вследствие чего предлагаемые ограничения относятся лишь к незначительному числу всех возможных технологий и приложений.

ГЛАВА 7

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

В этой главе предлагаются выводы и обобщения, относящиеся к материалу книги в целом. В разделе 7.1 (представляющем собой фактически просто одну большую таблицу) перечисляются рассмотренные выше военные приложения НТ и меры, рекомендуемые для ограничения вооружений в каждом конкретном случае. Раздел 7.2 посвящен выработке атмосферы доверия и прозрачности на переговорах по разоружению. В разделе 7.3 дается краткое описание возможных направлений развития, а в заключительном разделе 7.4 приводятся обобщающие мысли автора, относящиеся к проблемам международной безопасности в современном мире с его стремительно развивающимися технологическими возможностями.

7.1. Рекомендации относительно мер превентивного контроля нанотехнологических видов оружия

В таблице 7.1, на основе обсуждения и выводов раздела 6.4, перечисляются различные меры превентивного контроля вооружений для конкретных военных приложений НТ.

7.2. Создание атмосферы взаимного доверия и прозрачности

Заключение любых соглашений, вводящих формальные ограничения, всегда занимало у специалистов длительное время, а иногда весьма сложно добиться даже согласия о начале таких переговоров. При любых осложнениях такого рода очень полезными могут оказаться не-

Таблица 7.1. Рекомендации относительно мер превентивного контроля вооружений (важнейшие типы опасных систем и основные рекомендации выделены курсивом)

Распределенные датчики
• *Полный запрет на изолированные системы датчиков, размеры которых меньше заранее установленного размера (3–5 см)* как военного, так и гражданского назначения. Запрет должен относиться и к стадии разработок, а единственным исключением могут стать важные гражданские приложения таких или меньших систем Проверка выполнения условий запрета должна в основном осуществляться инспекцией на местах с правом использования микроскопов и т.д.
Новые типы обычного оружия
• *Поддержание Договора об обычных видах вооружения в Европе (Договор CFE)*, что означает внесение соответствующих поправок в определения ограничиваемого Договором оборудования в тех случаях, когда параметры модифицированных видов оружия отклоняются от установленных параметров. Продолжение переговоров с целью заключения аналогичных договоров в других регионах планеты
• *Полный запрет на все виды легкого и стрелкового оружия, а также военного снаряжения из не содержащих металл материалов* как военного, так и гражданского назначения. Запрет должен относиться и к стадии разработок, а в тех случаях, когда использование такого оружия или снаряжения представляется особо необходимым, все изделия должны быть маркированы металлсодержащими вставками, позволяющими легко выявлять такие изделия рентгеновскими установками и металлоискателями Проверка выполнения условий запрета должна осуществляться инспекцией на местах с правом использования вспомогательного оборудования
• *Полный запрет на все виды ракет с размерами меньше установленного предела (0,2–0,5 м)* как военного, так и гражданского назначения. Запрет должен относиться и к стадии разработок, а единственным исключением могут стать ракеты для уже известных и безопасных гражданских приложений (фейерверки, заброска канатов и т.д.)
Манипуляции с человеческим организмом
• *Мораторий на использование имплантантов и любые другие манипуляции с человеческим организмом, не диктуемые прямой медицинской необходимостью.* Мораторий должен относиться ко всем манипуляциям как военного, так и гражданского характера, применяться еще на стадии разработок и заключаться на срок не менее 10 лет (с правом продления). Международное сообщество должно внимательно изучить связанные с этим вопросы и вынести конкретные решения относительно легальности и этической допустимости таких манипуляций

Таблица 7.1. *Продолжение*

Автономные системы обычных размеров (выше 0,2–0,5 м)

- Общий запрет на беспилотные, вооруженные и мобильные системы многократного использования
- Введение ограничений на количество невооруженных, беспилотных, мобильных систем в зависимости от их функциональных особенностей
- Запрет на использование невооруженных, беспилотных, мобильных систем в общественных местах и воздушном пространстве
- В тех случаях, когда распространение беспилотных систем представляется неизбежным, рекомендуется использовать следующие ограничительные меры:
  - а) рассматривать их использование с точки зрения положений Договора CFE (и предполагаемых договоров аналогичного типа для других регионов планеты);
  - б) если используемые беспилотные системы не подпадают под определения Договора CFE, ввести поправки в соответствующие определения Договора для согласования с численными ограничениями, исходя из общей цели усиления условий данного Договора;
  - в) *запрет на любую возможность принятия автоматами решения о выборе цели или применения оружия без санкции человека-оператора;*
  - г) *запрет на создание любых качественно новых типов носителей ядерного оружия*

  Все перечисленные запреты относятся к военным приложениям и должны применяться еще на стадии разработки

  Проверка выполнения условий запрета должна в основном осуществляться инспекцией на местах

Малые мобильные системы (с размерами меньше 0,2–0,5 м)

- *Общий запрет на создание малых мобильных, (частично) искусственных систем с размерами меньше установленного предела (0,2–0,5 м), действующих над/под землей, над/под водой или в воздухе.* Запрет должен относиться к системам как военного, так и гражданского назначения и применяться еще на стадии разработок, независимо от степени автономности систем или их биологически-технической комбинации. Исключения, относящиеся к очень важным приложениям, должны быть строго ограничены следующими областями:
  - а) в гражданских целях:
    - исследование небесных объектов;
    - изучение состояния поврежденных, аварийных или разрушенных строений;
    - работа в трубопроводах;
    - хирургические операции;
  - б) в военных целях:
    - хирургические операции

Таблица 7.1. *Окончание*

  Для перечисленных выше, очень специальных исключений ограниченного применения не стоит разрабатывать систему технических проверок и лицензирования

  Проверка выполнения условий запрета должна в основном осуществляться инспекцией на местах с правом использования микроскопов и т.д.

Микроспутники и средства их запуска

- *Полный запрет на запуск в космос любых видов оружия, применяющийся еще на стадии разработок*

  Проверка выполнения условий запрета должна в основном осуществляться наблюдением с Земли, а также заранее оговоренными дополнительными инспекциями на местах запуска
- Меры по регулированию, взаимному уведомлению и инспектированию при любом использовании всех видов микроспутников и средств их запуска

Новые виды химического и биологического оружия

- *Всемерная поддержка выполнения условий Конвенции по химическому оружию (CWC)*, включая разъясняющую поправку относительно статьи II Конвенции, т.е. «химическим действием» должно считаться также любое вредное воздействие новых, создаваемых на основе НТ агентов (размеры которых меньше размера клеток) на внутриклеточные процессы
- *Всемерная поддержка выполнения условий Конвенции по биологическому оружию и токсинам (BTWC)*, включая разъясняющую поправку относительно того, что эта Конвенция применима и к любым новым, создаваемым на основе НТ микроскопическим системам, способным проникать в живой организм (независимо от того, являются ли они частично или полностью искусственными)
- *Подписание Протокола о мерах по усилению доверия и проверки* условий Конвенции BTWC
- *Заключение Конвенции по биобезопасности*, согласованной с требованиями Конвенции BTWC и предложенного выше нового протокола

Во всех случаях, когда заключение международных соглашений представляется очень сложным или переговоры затягиваются на слишком долгий срок, рекомендуется добиваться хотя бы временных соглашений между странами, ведущими активные исследования и НИОКР в области НТ. Целью любых таких переговоров и соглашений должно быть сдерживание распространения опасных систем и приложений

которые неформальные методы ведения переговоров, позволяющие, с одной стороны, предотвратить (или хотя бы задержать) опасное развитие отношений между государствами, а с другой – улучшить общую атмосферу переговоров об ограничениях.

Недоверие между сторонами, ведущими переговоры, может возникнуть по множеству разнообразных причин, и прежде всего из-за недо-

статка информации о реальных достижениях в тех конкретных областях технологий, где происходят революционные изменения и можно ожидать быстрого развития новых методов и приложений (в разделе 3.4 приводился поучительный пример возникновения такой ситуации). Во избежание подобных недоразумений переговаривающиеся стороны должны позаботиться о создании атмосферы так называемой прозрачности относительно своих инициатив в области НТ (особенно когда исследования еще не достигли стадии откровенного соперничества). В качестве похвального примера можно привести усилия Соединенных Штатов, которые в своей Национальной НТ-инициативе предложили много возможностей международного сотрудничества, включая социальные аспекты и приложения [Roco, 2001, 2002a]. Весьма положительным следует считать также уже существующую кооперацию действий Европейской комиссии по науке и Национального научного фонда США [Roco and Tomellini, 2002][1]. Обсуждение исследований и достижений НТ международным научным сообществом пока слабо затрагивает военные приложения, однако такое положение может продлиться недолго. Именно военные НИОКР потенциально создают основные опасности для будущего развития, вследствие чего должны быть выработаны некоторые общие «правила поведения», относящиеся к НТ-исследованиям вообще, т.е. и в гражданской, и военной области.

Разумеется, очень трудно создать атмосферу прозрачности и доверия, если известно, что участвующие в переговорах страны одновременно осуществляют агрессивные военные программы в области НТ, поэтому дипломатам и специалистам следует проявлять сдержанность и такт (хотя бы во избежание ненужных осложнений). Во всех ситуациях ведущие переговоры специалисты должны стараться повысить уровень прозрачности, доверия и мер взаимной безопасности, примером чего могут служить Договор по обеспечению безопасности и сотрудничества в Европе (ОБСЕ) или ограничения ООН (UN Register) по обычным вооружениям. В этом отношении открываются широкие перспективы именно для ограничения использования НТ, особенно развития НИОКР в технологиях двойного назначения. Стороны вполне могут договориться об обмене информацией относительно финансирования проектов и бюджетных ассигнованиях, проводить семинары по стратегии исследований и развитию технологий, осуществлять совместные проекты и просто организовывать регулярный обмен специалистами.

Следует приложить все усилия для развития формальных и неформальных средств создания атмосферы прозрачности и доверия между

государствами. Огромные потенциальные возможности НТ усиливают у партнеров чувства недоверия и опасности, что может быть преодолено только заключением достаточно авторитетных и серьезных международных соглашений по ограничению и контролю НИОКР (и в гражданском, и в военном секторе), обеспечивающих достаточно строгую систему проверки.

7.3. Рекомендации к проведению дальнейших исследований в области разоружения и предотвращения гонки вооружений

Представленная работа посвящена изучению потенциальных военных приложений НТ с точки зрения возможности их ограничения и введения правил превентивного контроля. Проблема является настолько общей и важной, что требует дальнейшего углубленного и обобщенного изучения, что позволит не только глубже изучить поставленные вопросы, но и представить общественности более обоснованные и конкретные предложения.

Прежде всего, конечно, должно быть продолжено изучение военных приложений НТ в следующих направлениях:

1. Работы в указанных ранее наиболее опасных областях: применение распределенных микродатчиков, модификация обычных видов оружия, манипуляции с человеческим организмом, использование больших и малых автономных систем, микроспутники и средства их запуска, новые виды химического и биологического оружия. Повышенное внимание должно быть уделено развитию НТ в странах с высокоразвитыми военными технологиями (особенно в тех, которые традиционно отличаются закрытостью, типа России или Китая), а также во Франции и Израиле.
2. Разработки принципиально новых типов оружия, типа пушек с электромагнитным ускорением снарядов, лазерного оружия и микроволновых устройств.
3. В области ядерного оружия особое внимание должны привлекать исследования по созданию миниатюрных зарядов на основе процессов термоядерного синтеза.

С учетом анализа состояния исследований и НИОКР специалисты по разоружению должны вырабатывать подходящие условия соглашений, относящихся к превентивному контролю вооружений и методам соответствующего контроля. В ближайшей перспективе

наибольшую опасность для международной военной стабильности могут представлять разнообразные боевые автоматы (автономные боевые устройства), вследствие чего следует немедленно заняться подготовкой договора, позволяющего превентивно ограничить развитие и использование таких устройств. Специалистам по разоружению необходимо довести до широкой общественности (с учетом различных политических и социологических аспектов) важность перечисленных ниже проблем и необходимость выработки ответов на указанные ниже вопросы:

1. Не следует ли международному сообществу выработать какое-либо новое общее соглашение в связи с развитием НТ? Какие конкретные задачи и проблемы (например, опасное применение искусственных микроскопических систем, манипуляции с физиологией человеческого организма и т.д.) должны стать основной темой такого соглашения?
2. Каковы должны быть конкретные политические условия для введения превентивных ограничений на НИОКР по НТ в различных странах с учетом интересов как потребителей высокотехнологической военной техники, так и импортеров важных коммерческих продуктов, созданных на основе НТ? Какие политические процессы могут соответствовать введению таких ограничений?
3. Какую комбинацию различных существующих методов и юридических норм (односторонние ограничения, неформальные соглашения, правила поведения, формальный контроль экспорта изделий или международное соглашение о превентивном ограничении) следует использовать для достижения намеченных целей?
4. Будет ли означать явное превосходство (в области военных приложений НТ) одной из наций ее стремление к военной агрессии? Каково должно быть поведение других стран в этой ситуации?
5. С учетом разнообразия возникающих на основе НТ продуктов двойного (военного/гражданского) применения какова должна быть основная линия поведения государств в области НИОКР, т.е. должны ли отдельные страны финансировать собственные разработки или полагаться на международное сотрудничество?

   Два последующих вопроса из этого набора имеют четко выраженную научную направленность:

6. Каким образом потенциальные возможности НТ могут быть использованы для усиления действия и усовершенствования методов проверки уже существующих важнейших договоров по ограничению вооружений (в первую очередь речь идет о Конвенциях CWC и BTWC)?
7. Могут ли НТ использоваться для проверки других соглашений, относящихся к новым ограничениям в области вооружений?

Молекулярные нанотехнологии

1. Выше уже неоднократно отмечалось, что основная проблема молекулярных нанотехнологий заключается в самой возможности их реализации, а также (если МНТ действительно могут быть созданы) в сроках практического внедрения различных видов таких технологий. По некоторым из проблем МНТ (в частности, о возможности молекулярной самосборки и создания наномасштабных самовоспроизводящихся устройств) Конгресс США направил специальный запрос Американскому совету по научным исследованиям [Congress, 2003], ответ которого, возможно, внесет некоторую ясность в ситуацию.
2. В соответствии с изложенным выше материалом, исследования в области возможного превентивного ограничения будущих видов оружия должны вестись в следующих направлениях:
   - возможные военные приложения МНТ и их реальная опасность;
   - взаимодействия и связи между гражданскими и военными НИОКР в области МНТ;
   - возможность введения превентивных ограничений на НИОКР, осуществляемых в гражданском и военном секторах экономики;
   - методы и технические средства проверки выполнения установленных ограничений в гражданском и военном секторах экономики.

7.4. Заключительные размышления

7.4.1. Превентивные меры контроля вооружений в области НТ

Нанотехнологии представляют собой широчайший спектр разнообразных технологий, имеющих самые разные приложения как для коммерческих, так и для чисто военных целей, вследствие чего любая современная оценка на основе критериев превентивного контроля

вооружений может быть основана на данных, относящихся лишь к очень короткому и примерному списку наиболее опасных приложений, имеющих прямое отношение к системам оружия или нарушению существующих договоренностей. Такая общая ситуация только подчеркивает необходимость введения превентивных мер, обеспечивающих контроль вооружений в области НТ. С другой стороны, понятно, что основную опасность для стабильности представляют не столько сами технологии, сколько создаваемые на их основе готовые военные системы и конкретные военные программы, поэтому ограничения должны быть направлены в первую очередь именно против систем и программ. Этому способствует и естественное обстоятельство, что устройства и системы, предназначенные для выполнения определенных программ и действий, обычно достаточно легко обнаруживаются при визуальном осмотре оборудования, т.е. их выявление не требует подробного анализа сложных технических деталей внутреннего устройства.

НТ принципиально относятся к малым и сверхмалым системам, для которых очень трудно ввести какие-нибудь количественно определенные ограничения. Проверка любых соглашений об ограничении их применения в военных целях окажется достаточно сложной как из-за низкой стоимости (т.е. массовости производства), так и из-за нежелания сторон раскрывать производственные и военно-технические секреты. Примером такого поведения может служить отказ от соглашений и подписания Протокола Конвенции BTWC (см. раздел 6.4.7). Строго говоря, военные круги никогда не интересовались никакими военными системами микроскопических размеров (если не рассматривать в качестве боевых систем отдельные молекулы и микроорганизмы), вследствие чего предлагаемый в данной книге максимальный предел размеров мобильных микросистем (0,2–0,5 м) является в определенном смысле чисто символическим и качественным «порогом» значений. Если международному сообществу не удастся договориться об эффективном запрете таких мобильных микросистем, то количественные ограничения (с использованием традиционных методов проверки) вскоре станут бессмысленными.

С другой стороны, представляется очевидным, что никакой запрет на военные приложения каких-либо мини- и микросистем не будет иметь смысла, если аналогичные системы получат широкое распространение в гражданском секторе экономики и будут выпускаться коммерчески. Понятно, что любые ограничения на военные приложения НТ должны быть как-то увязаны с производством в гражданской сфере. К счастью, современное гражданское общество обладает

собственными мотивами для ограничения возможностей развития таких систем. В демократическом государстве (с развитыми механизмами соблюдения юридических норм, уголовного наказания и законного применения силы) контроль приложений НТ не должен вызывать осложнений, связанных с безопасностью или сохранением секретов производства.

7.4.2. Эффективность и эффектность военных приложений НТ

Несмотря на то что никто не сомневается в огромных преимуществах, которые создаст внедрение НТ в военную технику, стоит задуматься и о том, что на практике многие (или хотя бы некоторые) результаты НИОКР или методы и изделия НТ в военной области могут оказаться недостаточно эффективными, слишком дорогими или просто уязвимыми для мер противодействия. Недостатки новых изделий и технологий могут, как обычно, обнаружиться по самым разным причинам: небольшие размеры систем, недостаточная подвижность, сложности с энергоснабжением и боевой нагрузкой и т.п. Например, медицинские применения НТ (использование имплантантов, манипуляции с организмом) могут привести к серьезным осложнениям, связанным с физиологией и психологией человека, а прогресс в создании столь многообещающих автоматов и роботов (включая упоминавшиеся «рои» микроавтоматов) может безнадежно замедлиться из-за невозможности создания необходимого для их управления искусственного интеллекта.

Сказанное подразумевает, что многие превентивные ограничения, о которых идет речь, вообще не будут иметь смысла, поскольку (например, при очевидной неэффективности новых видов вооружения) вооруженные силы просто не станут развертывать такие системы[2]. С другой стороны, настоящая ценность военно-технических приложений науки часто выявляется не сразу, поэтому некоторые системы/технологии могут оказаться весьма эффективными (несмотря на прогнозы специалистов), вследствие чего у военных кругов возникнут сильнейшие побуждения к быстрому внедрению новых технологий и для любых переговоров о превентивных ограничениях не останется ни времени, ни возможностей. Реальная стратегия в заключении соглашений о превентивном контроле вооружений должна состоять именно в ограничении систем, которые пока представляются безопасными и не могут быть быстро использованы в военных целях, т.е.

введение разумных ограничений должно опережать развитие вооружений на десятилетия (см. раздел 5.1.3). Еще один довод в пользу более раннего введения ограничений на новые виды оружия связан с тем, что военная эффективность многих систем зависит от географии применения и политики отдельных правительств. В некоторых случаях даже очевидная бесполезность применяемых средств не может предотвратить использование правительствами каких-то новых военных методов и устройств[3]. Разумеется, в таких случаях невозможно вести серьезные переговоры об ограничении вооружений, а следует дожидаться изменения политических условий.

7.4.3. Перспективы использования нанотехнологии в международных операциях по поддержанию мира

В принципе, представляется несомненным, что войска, обеспечивающие международный мир и осуществляющие различные миротворческие операции или так называемую интервенцию в гуманитарных целях (под мандатом ООН), имеют полное право пользоваться всеми военными приложениями НТ, позволяющими им действовать с предельной эффективностью и избирательностью. Независимо от дискуссии о законности таких операций вообще, представляется очевидным, что предложенный выше достаточно узкий список ограничений не должен снижать эффективность действия международных сил по поддержанию порядка, т.е. военные приложения НТ кажутся приемлемыми для использования в указанных целях.

Реальная проблема выглядит более сложной. Разумеется, использование многих новых военных средств (миниатюрных датчиков, модифицированных типов обычного оружия, методов манипуляции с человеческим организмом, больших и малых автономных систем, микроспутников и т.п.), связанных с НТ, может значительно повысить боевые возможности международных сил по поддержанию порядка. Более того, можно даже усилить это утверждение и найти аргументы для оснащения таких сил новыми видами химического и биологического оружия[4]. Однако, рассматривая проблему какого-то разрешенного «использования» НТ, нельзя забывать о наличии достаточно серьезных побочных доводов против такого использования. Прежде всего, вполне возможна ситуация, когда миротворческие силы столкнутся с противником, который также обладает аналогичным оружием (например, кто-то может получить новые виды вооружения

в обход ограничений и запретов на распространение). Во-вторых, любой успех в миротворческих операциях, обусловленный применением новых видов оружия (в даном случае созданных с использованием НТ), может привести к быстрому распространению и развитию таких боевых устройств и систем. Другими словами, демонстрация эффективности какого-то типа оружия может легко привести к дестабилизации и нарушениям международного порядка, вызвать гонку вооружений, нарушить режим нераспространения, увеличить опасность терроризма и т.п.

В реальных условиях международные силы, осуществляющие операции по поддержанию мира, обычно обладают вполне достаточным преимуществом перед противником и не нуждаются в использовании каких-то особых НТ-приложений, тем более таких, которые подпадают под ограничения и запреты. Поэтому проблему ограничения вооружений вообще не стоит связывать с миротворческими операциями.

7.4.4. Ведущая роль США

Особого интереса заслуживает позиция единственной оставшейся сверхдержавы, Соединенных Штатов Америки, военная политика которых построена на стремлении к технологическому превосходству и доминированию в любых вооруженных конфликтах [см., например, JV, 2000]. Политика нынешней администрации лишь усиливает эту тенденцию, в результате чего США все чаще осуществляют односторонние действия и придают все меньше значения многосторонним соглашениям, включая договоренности об ограничении вооружений.

Эта позиция особенно ясно проявляется и в финансировании военных НИОКР в нанотехнологиях, где расходы США в несколько раз превышают совместные расходы всех остальных стран мира на эти же цели (от 4 до 10 раз по различным методикам подсчета, как было показано в разделе 3.3). Как и во многих других технологиях, иногда возникает удивительное ощущение, что США вступили в виртуальную гонку вооружений сами с собой. В результате создаются новые военные системы и приложения, многие из которых было бы разумнее не создавать, хотя бы потому, что новейшее вооружение всегда может каким-то образом (экспорт, передача технологии, подражание американским образцам и т.д.) попасть в руки потенциальных противников. В настоящее время, когда противниками часто выступают не только государства, но и организации самого разного типа, создаваемые виды оружия могут стать угрозой для самих США.

Конечно, США смогут, пользуясь своим преимуществом, достаточно долго контролировать развитие наиболее опасных военных приложений НТ или, по крайней мере, сдерживать угрозу появления новых видов оружия. С другой стороны, возможно, позднее руководство США вынуждено будет осознать, что роль лидера в технологиях очень тяжела, так как США вынуждены изучать множество возможностей и вариантов, позволяя тем самым другим странам избегать значительных расходов на НИОКР и дождаться результатов американских исследований. Оба фактора будут медленно уменьшать преимущество США в военных приложениях НТ, хотя еще долгое время ни одна из стран не сможет создавать угрозы США в этой области. Разумеется, для упрочения и продления такой безопасности в дальнейшем рано или поздно необходимо будет заключить соответствующие многосторонние соглашения, включающие в себя и необходимые средства проверки. Существующее одностороннее технологическое преимущество США обеспечивает некоторое время для выработки таких соглашений.

Для начала переговоров о таких соглашениях необходимо, конечно, и проявление политической инициативы, чего трудно ожидать от существующей администрации США, однако американская история дает много примеров согласия Правительства США на ограничения в области новых военных технологий. В качестве примера можно привести договоренность по противоракетной обороне (1972–2002 годы) и протокол о запрете ослепляющего лазерного оружия (1995 год), причем первое из этих соглашений было заключено еще во времена холодной войны, когда существовала страна с антагонистической идеологией, рассматриваемая Правительством США в качестве потенциального противника. В настоящее время, несмотря на изменения в политической ситуации, на глобальном уровне национальная безопасность государств во многом по-прежнему определяется наличием военных угроз, причем сейчас эти угрозы могут исходить не только от крупных государств (типа США, России и Китая).

Нанотехнологии не только позволяют создать совершенно новые военные средства, но и являются вполне доступными для многих стран (среди которых – Россия и Китай), хотя они и отстают пока от США в этом отношении. Для безопасности США очень большое значение может иметь появление новых видов стрелкового оружия (изготовленного без применения металла), создание автономных микроробототов, химических боевых веществ избирательного действия и т.п., причем некоторые из этих средств могут использоваться не только армиями стран-противников, но и террористами. Серьезное рассмотрение будущих проблем развития США (основанное не на сохранении кратковременного военного преимущества, а на высших национальных интересах) должно привести Правительство США к очевидной мысли о том, что заключение серьезных международных соглашений по ограничению опасных военных приложений НТ должно быть безусловно полезным для национальной безопасности.

Пока правительственные круги США не воспринимают подобные аргументы, однако остальные члены международного сообщества должны готовиться к изменению американской позиции, а возможно, уже и приступить к заключению некоторых ограничивающих договоров в этой области. Такие договоры не только выведут из неминуемой гонки вооружений многих потенциальных участников (даже без учета США), но и окажут политическое воздействие на общественное мнение в США[5].

7.4.5. Влияние НТ на дальнейшее развитие международных отношений

Нанотехнологии совместно с целым набором примыкающих или, как уже принято говорить, «сходящихся» технологий (биотехнологии, генная инженерия, манипуляции с внутриклеточными процессами, информационные технологии и сверхмалые компьютеры, искусственный интеллект с разными уровнями развития, большие и сверхмалые роботы и т.п.) не только ставят перед человечеством новые этические проблемы, но и создают множество возможностей для злоупотреблений и опасных применений. Новые технологии позволяют создавать «всепроникающие» и очень малые объекты, воздействие которых почти невозможно контролировать, вследствие чего перед гражданским сообществом встает сложная задача. Оно должно принять и использовать новые технологии, но, одновременно используя общие механизмы (демократическое принятие решений, соблюдение законности, лицензирование деятельности, проверка и уголовные наказания), гарантировать сохранение прав отдельных граждан и существующих форм правового государства.

Для того чтобы обеспечить выполнение (а возможно, даже усиление) существующих законов, гражданское сообщество должно будет принять некоторые новые условия проверки деятельности государственных служащих (эти условия можно рассматривать в качестве относительно жестких ограничений или одновременно значительного расширения прав). Речь идет о новых правилах и законах, относя-

щихся к безопасности работы, сохранению окружающей среды, точности учета и проведения уголовных расследований. Наличие микроскопических устройств, тайно проникающих в самые разные помещения, потребует даже создания международной инспекционной системы, гарантирующей выполнение взятых обязательств по ограничению некоторых методов и объектов. Организация такой международной инспекции может оказаться приемлемой для гражданского сектора (хотя при этом и возникнут проблемы с сохранением коммерческой тайны и т.п.), однако она несомненно встретит серьезнейшее сопротивление военных кругов, для которых использование новых технологий (наряду с секретностью) всегда являлось важной частью подготовки к вооруженным конфликтам.

Таким образом, мы сталкиваемся со сложной проблемой, когда традиционный метод поддержания национальной безопасности (а именно угроза ответного применения вооруженной силы) оказывается далее несовместимым с требованиями, которые предъявляет обществу развитие технологий. Если угрозы безопасности государству, возникающие вследствие могущества новых технологий, могут быть предотвращены лишь введением строжайших мер инспекций, то теряет смысл центральная идея создания и функционирования вооруженных сил, поскольку безопасность страны уже не может обеспечиваться действиями национальной армии.

С этой точки зрения новые технологии, требующие введения международного контроля, выступают в качестве «катализатора» нового процесса в международных отношениях. Благодаря новым технологиям мы можем избавиться от упоминавшейся выше трагической «дилеммы безопасности» и усилить в глобальной политике и дипломатии элементы, свойственные гражданскому сообществу. Это будет означать усиление роли международных организаций (и вообще роли международных законов), а также способствовать, в частности, возможностям уголовного преследования некоторых лиц и организаций. Предполагаемое развитие событий ведет государства мира к большему объединению. Оно также будет усиливать монопольное право международного сообщества на законное применение силы. Эта сила должна быть достаточной для предотвращения незаконного применения силы (или угрозы таких действий), т.е. для проведения соответствующих миротворческих и карательных операций. Одновременно этот процесс приведет к тому, что роль вооруженных сил отдельных стран в обеспечении собственной безопасности будет постепенно уменьшаться.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

СВОДНАЯ ТАБЛИЦА НАНОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАЗРАБОТОК, ОСУЩЕСТВЛЯЕМЫХ DARPA

По изложенным ранее причинам выделение из отчетных документов сведений, относящихся к нанотехнологиям, является сложной задачей, вследствие чего некоторые разработки, по-видимому, не были учтены. Часть проектов (например, связанных с разработкой больших и малых роботов и автоматических систем) может быть отнесена к нанотехнологиям косвенно, хотя бы потому, что их выполнение подразумевает использование сверхмалых вычислительных устройств и т.п. Объемы финансирования указаны на 2003 бюджетный год в миллионах долл. В некоторых проектах (например, связанных с разработкой микроспутников и новых материалов) расходы на собственно нанотехнологические исследования пока составляют лишь очень небольшую долю, чему в последнем столбце таблицы соответствует «0», поскольку данные округлялись с точностью до 1 миллиона. Цифры, соответствующие объемам финансирования собственно нанотехнологических исследований (т.е. в узком смысле этого термина), выделены в таблице жирным шрифтом. В таблице использована система классификации RDT&E (см. раздел 3.1.2).

Сводная таблица. Полный список программ, финансируемых Управлением перспективных военно-исследовательских проектов (DARPA) и имеющих прямое и косвенное отношение к нанотехнологиям (в соответствии с предложенным в разделе 3.1.2 узким и широким определением этих технологий). К нанотехнологиям в широком смысле отнесены разработки, связанные с биологией, созданием систем искусственного интеллекта, когнитивистикой (наукой о познании) и робототехнике. В список не включены проекты, связанные с программным обеспечением, созданием баз данных, методами информационной войны и т.п., а также разработки по «чистой» микросистемной технике. Таблица составлена на основе тщательного анализа последних бюджетных отчетов DARPA [DARPA Budget, 2003], вследствие чего у автора не было возможности уточнить и проверить приводимые данные

Область финансируемых исследований/макропрограмма/проекты	Название конкретной программы	Тематика; цели; примечания	Объем финансирования в 2003 году
Фундаментальные исследования (группа BA1)			
Оборонные исследования			
Био/инфо/микротехнологии BLS –01	BioComputational Systems	Вычислительные процессы в биологических системах; миниатюризация аппаратного оборудования; моделирование клеточных процессов и создание программного обеспечения для их регулирования	**30**
	Simulation of Bio-Molecular Microsystems	Молекулярное распознавание; передача сигналов; процессы переноса на микро- и наноуровне; создание интегрированных (биологически-синтетических) систем	**15**
	Bio Futures	Связь информационных технологий с биологическими процессами	**10**

Сводная таблица. *Продолжение*

Область финансируемых исследований/макропрограмма/проекты	Название конкретной программы	Тематика; цели; примечания	Объем финансирования в 2003 году
	Biological Adaptation, Assembly and Manufacture	Изучение процессов биологической адаптации и выживания в тяжелых условиях внешнего окружения	**10**
	Nanostructure in Biology	Изучение различных биологических материалов и сред	**9**
	Brain Machine Interface	Изучение работы мозга; создание интерфейсов для связи мозга и нервной системы с периферическими устройствами и системами	12
Информатика CCS-02	Computer Exploitation and Human Collaboration	Изучение возможностей интуитивной связи с вычислительными устройствами	24
Электроника ES-01	Supermolecular Photonic Engineering	Создание молекулярных структур с заданными оптическими характеристиками	**0**
Материаловедение MS-01	Nanoscale/Bio- molecular and Meta materials	Электрооборудование, промышленная электроника, устройства отображения	**13**
	Spin Dependent Materials and Devices	Светоизлучающие диоды, транзисторы, квантовые логические устройства	**19**
	Engineering Bio-Molecular Nano-Devices and Systems	Контроль и анализ сигналов от биомолекулярных объектов в реальном масштабе времени	**7**
	Spin Electronics	Электроника на основе органических молекул, наноустройства	**15**
	Ultra Performance Nanotechnology Center		**3**
	Joint Collaboration on Nanotechnology		**2**

Сводная таблица. *Продолжение*

Область финансируемых исследований/макропрограмма/проекты	Название конкретной программы	Тематика; цели; примечания	Объем финансирования в 2003 году
	Center for Nanostructure Materials		**0**
	Nanotechnology Research and Training Facility		**2**
	Molecular Electronics		**1**
Прикладные исследования (группа BA2)			
Вычислительные и коммуникационные системы			
«Умные» системы и программное обеспечение ST-11	Software for Situational Analysis	Большие базы данных	18
	Taskable Agent Software Kit (TASK)	Системы глобальной оценки (например, для автономных транспортных устройств)	11
Сверхмощные и глобальные системы ST-19	Autonomous Systems Control	Планирование операций, мобильные роботы	6
	Mixed Initiative Control of Automa-Teams	Планирование операций, управление автономными и распределенными боевыми средствами	17
Системы перевода ST-29	Situation Presentation and Interaction	Возможность автоматического «перевода» в диалоговом режиме и т.п.	9
	Automated Speech and Text Exploitation in Multiple Languages	Понимание иностранных языков, перевод, критическое обсуждение	34

Сводная таблица. *Продолжение*

Область финансируемых исследований/макропрограмма/проекты	Название конкретной программы	Тематика; цели; примечания	Объем финансирования в 2003 году
Когнитивные системы обучения и восприятия ST-30	Perseptive Assistant that Learns	Разработка когнитивных систем, использующих предыдущий опыт и способных к целенаправленному восприятию окружения	7
	Real-World Learning Technology	Разработка когнитивных систем, способных к совершенствованию и повышению интеллекта	0
Коммуникации, взаимодействия и когнитивные сети ST-31	Augemented Cognition	Изучение возможностей оценки и контроля когнитивного состояния субъекта	19
	Collaborative Cognition	Изучение возможностей «сотрудничества» когнитивных систем в сложной, динамической обстановке	2
	Self-Aware Peer-to-Peer Networks	Создание системы управления для перестраиваемых сетей датчиков и вычислительных устройств с децентрализированным управлением	2
Основы теории когнитивных систем ST-32	Network-Centric Infrastructure for Command, Control and Intelligence	Создание виртуальных центров, способных осуществлять связь между людьми, компьютерами, роботами и базами данных	9
	Architecture for Cognitive Information Processing	Выработка способности к восприятию, обучению, связи и взаимодействию	0
Основы теории представлений и способности к мышлению ST-33	Autonomous Software for Intelligent Control	Разработка мобильных роботов и транспортных средств, способных самостоятельно выбирать маршруты движения и общаться с людьми	15
	Knowledge Based Systems	Создание баз данных самого разного объема (от стратегической информации до личных записей)	0

Сводная таблица. *Продолжение*

Область финансируемых исследований/макропрограмма/проекты	Название конкретной программы	Тематика; цели; примечания	Объем финансирования в 2003 году
	Advisable Systems	Помощь пользователям в естественной и удобной форме	4
«Встроенное» программное обеспечение			
Программное обеспечение для автономных систем AE-02	Common Software for Autonomous Robotics	Создание программного обеспечения для больших групп микророботов, работающих в условиях ограниченного снабжения ресурсами	5
	Software Enabled Control	Обычные и беспилотные самолеты и авиационные аппараты	18
Программное обеспечение для «встроенных» систем AE-03	Large Scale Networks of Sensors	Программное обеспечение для систем распределенных микродатчиков	4
Защита от биологического оружия			
Программа защиты от биологического оружия BW-01	Advanced Diagnostics Sensors	Биочипы для быстрой идентификации патогенных микроорганизмов и других видов биологического оружия	5 **37**
Военно-тактические технологии			
Системы управления наземными войсками TT-04	Collaborative Munitions	Системы распределенных датчиков для быстрой оценки военной обстановки и выработки решений	6
	Close-InSensing/Odortype Detection/Dynamic Optical Tags	Индивидуальные датчики для регистрации химических агентов, микроустройства для обозначения целей, наведения и т.д.	13

Сводная таблица. *Продолжение*

Область финансируемых исследований/макропрограмма/проекты	Название конкретной программы	Тематика; цели; примечания	Объем финансирования в 2003 году
Перспективные военно-тактические технологии TT-06	Varuna	Сверхмалые аудио- и видео- следящие системы для отслеживания и наведения на цель	0
Технологии аэронавтики TT-07	Long Endurance Hydrogen Powered Unmanned Air Vehicle	Системы связи и управления аппаратами, эквивалентными спутникам с низкой орбитой	4
	Organic Air Vehicles (OAV) in the Trees	Создание микроустройств для полетов и действий внутри закрытых объемов и зданий	4
Сетевые технологии TT-13	RoboScout	Разработка дешевых, небольших и высокомобильных датчиков для разведки и наблюдения	0
	Eyes-On System	Создание авиационных микроустройств для полетов и контроля над заданной зоной	0
	Urban Robotic Surveillance	Система мобильных датчиков на наземных и воздушных платформах	0
Технологии, относящиеся к материаловедению и электронике			
Технология переработки материалов MPT-01	Structural Materials and Devices	Создание легких и многофункциональных материалов для использования в разных средах	**33**
	Smart Materials and Actuators	Создание «умных» материалов и актюаторов, необходимых для диагностики состояния военнослужащего и осуществления операций восстановления его боеспособности	**31**
	Functional Materials and Devices	Магнитные датчики и запоминающие устройства, электропроводящие/активные полимеры, новые типы электронной аппаратуры	**28**

Сводная таблица. *Продолжение*

Область финансируемых исследований/макропрограмма/проекты	Название конкретной программы	Тематика; цели; примечания	Объем финансирования в 2003 году
Технологии, связанные с микроэлектронными устройствами MPT 02	Chip Scale Atomic Clock	Часы (и любые другие устройства для измерения времени), основанные на использовании атомного резонанса	**13**
	Technology Efficient, Agile Mixed Sygnal Microsystem	Большие интегральные МОП-схемы (CMOS), объединяющие более 10 000 наномасштабных элементов	**12**
	Interfacing Nanoelectronics	Новые типы соединительных устройств и интерфейсов	**0**
	Nanostructured Photonics and Biomedical Materials	Изучение возможностей самосборки для создания биологических и спинтронных оптических устройств	**1**
«Некремниевые» технологии (Beyond Silicon) MPT-08	Quantum Information Science and Technology	Декогерентность, затухание сигнала, алгоритмы и протоколы, масштабные эффекты	21
	Moletronics	Изучение масштабных эффектов в молекулах, нанотрубках, нанопроволоках и т.п., иерархическая самосборка структур	**23**
	Molecular Computing	Интегральные запоминающие устройства с регулируемыми логическими элементами	**0**
Биотехнологические материалы и устройства MPT-09	Bioinspired and Bioderived Materials	Биомолекулярные двигатели, насекомые-«часовые»	**35**
	Biochemical Materials	Сохранение тканей и клеток; преодоление симптомов бессонницы и истощения; снижение энергопотребления организма	38
	Responsible Membrane Devices	Микрореакторы; нанотехнология; ДНК/РНК/белок-секвенирование	**7**

Сводная таблица. *Продолжение*

Область финансируемых исследований/макропрограмма/проекты	Название конкретной программы	Тематика; цели; примечания	Объем финансирования в 2003 году
	Bio-Magnetic Interfacing Concepts	Исследование наномагнетиков с целью их применения для изучения и регулирования процессов в отдельных клетках и биомолекулах	**5**
	Energy from Bio Systems	Топливные батареи на основе жидкого горючего, биокатализ	0
НИОКР (группа ВАЗ)			
Перспективные аэрокосмические системы			
Перспективные аэрокосмические системы ASP-01	Advanced Air Vehicle: A160 Hummingbird Warrior	Беспилотное устройство, способное к вертикальному взлету и посадке	13
	Unmanned Combat Air Vehicle	Подавление противовоздушных сил противника, нанесение авиаударов и т.п.	59
	Naval Unmanned Combat Air Vehicle	Подавление противовоздушных сил противника, нанесение авиаударов, разведка и т.п.	22
	Joint Unmanned Combat Air Vehicle	Подавление противовоздушных сил противника, нанесение авиаударов, разведка и т.п.	0
	Unmanned Combat Roborcraft	Разведывательные операции, нанесение авиаударов	23
Космические программы и технологии ASP-02	Orbital Express Space Operation Architecture	Автоматическая заправка и переналадка спутников на орбите; микроспутники	**40**
	Responsive Access, Small Cargo, Affordable Launch	Снижение стоимости вывода на орбиту малых спутников	24

Сводная таблица. *Продолжение*

Область финансируемых исследований/макропрограмма/проекты	Название конкретной программы	Тематика; цели; примечания	Объем финансирования в 2003 году
	Rapid On-Orbit Anomaly Surveillance and Tracking	Совместные действия микроспутников для отслеживания состояния объектов на орбите и их ремонта	0
	Space Assembling and Manufacture	Автоматическая сборка и микроспутники	0
Перспективные электронные технологии			
Новейшие методы литографии М-10	Advanced Lithography	Создание сложных микроэлектронных устройств с разрешением < 0,05 мкм	**24**
	Laser Plasma X-ray Source		**3**
	Advanced Lithography Demonstration	Литография с точечным источником	**4**
	Advanced Lithography X-ray Thin Film Development		**4**
Микроэлектронные и микросистемные технологии МТ-12	Bio-Fluidic Chips (BioFlips)	Введение требуемых жидких медицинских препаратов в организм военнослужащего	13
	MEMS Mechanical Computation and Data Storage	Запись информации в виде «микроточек», сдвига фазы или изменений молекулярной структуры	0
Объединенные технологиии МТ-15	Nano Mechanical Array Signal Processor	Использование наномеханических структур для обработки радиочастотных сигналов	**17**
	Digital Control of Analog Cirquits RF Front Ends	Наноструктуры CMOS, микрогидродинамика, электроника, МСТ	**16**

Сводная таблица. *Продолжение*

Область финансируемых исследований/макропрограмма/проекты	Название конкретной программы	Тематика; цели; примечания	Объем финансирования в 2003 году
	Flexible Nanocomposite Organic Photovoltaic Cells	Увеличение отношения мощность/вес в 200 раз	0
Системы управления, контроля и связи			
Системы управления информационными системами ССС-01	Advanced Ground Tactical Battle Manager	Оперативное командование соединениями роботов с индивидуальным контролем	4
	Banshee	Осуществление обмена информацией между боевыми или транспортными устройствами	0
	Comprehensive Force Protection	Создание системы датчиков и мобильных носителей для обеспечения охраны заданной территории	0
Технологии, связанные с датчиками и системами наведения	–		–
Технологии ВМФ	–		–
Технологии, связанные с сухопутными войсками			
Технологии, связанные с проведением сухопутных операций LNW-01	Tactical Mobile Robotics	Планирование военных операции в сложной обстановке	1
	Micro Air Vehicle Advanced Concept Technology Demonstration	Системы разведки и наблюдения	4

Сводная таблица. *Окончание*

Область финансируемых исследований/макропрограмма/проекты	Название конкретной программы	Тематика; цели; примечания	Объем финансирования в 2003 году
Армейские системы будущего LNW-03	FCS Supporting Technologies	Системы восприятия роботов, беспилотных наземных и воздушных боевых устройств; объединенные системы контроля и управления	77
Технологии, связанные с сетевым управлением боевыми операциями			
Объединенная система управления NET-01	Confirmatory Hunter Killer System	«Поисковые» беспилотные разведывательные и боевые устройства	0
Система управления военно-морскими операциями NET-02	Piranha	Разнообразные системы, включая «рои» беспилотных подводных устройств, следящих за подводными целями	0
Общее количество программ, непосредственно связанных с нанотехнологией			
в узком смысле	**36**		**465**
в широком смысле	51		547

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

СПИСОК НЕКОТОРЫХ КНИГ, СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ЖУРНАЛОВ И ИНТЕРНЕТ-ИСТОЧНИКОВ ПО НАНОТЕХНОЛОГИИ

Книги

1. Springer Handbook of Nanotechnology. Ed. B. Bushman. Springer-Verlag Berlin. 2004.
2. Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology. Ed. Natwa H.S., Americ. Sc. Publ, 2003.
3. Nanomatirials Handbook. Ed. Y. Godotsi, CRC Press, 2006.
4. *Валиев Р.З., Александров И.В.* Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. М.: Логос, 2000.
5. Нанотехнология в ближайшем десятилетии. Прогноз направления исследований / Под ред. М. К. Роко, Р. С. Уильямса и П. Аливисатоса. М.: Мир, 2002.
6. *Пул Ч., Оуэнс Ф.* Нанотехнологии. М.: Техносфера, 2004.
7. *Гусев А.И.* Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. М.: Физматлит, 2005.
8. Нано- и микросистемная техника: Сб. статей под ред. П.П. Мальцева. М.: Техносфера, 2005.
9. Наноматериалы. Нанотехнологии. Наносистемная техника: Сб. статей под ред. П.П. Мальцева. М.: Техносфера, 2005.
10. *Андриевский Р.А., Рагуля Ф.В.* Наноструктурные материалы. М.: Изд. центр «Академия», 2005.
11. *Суздалев И.П.* Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. М.: КомКнига, 2006.
12. *Кобаяси Н.* Введение в нанотехнологию / Пер. с японск. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005.

Web-сайты, содержащие информацию о нанотехнологии и нанонауке

www.nanotech.ru
www.nanocenter.ru
www.iacnano.ru
www.nanometer.ru
www.nano.gov
www.foresight.org
www.nanotec.org.uk
www.smalltimes.com
www.sciam.com/nanotech
www.nanotechbulletin.com
www.nanobusiness.com
www.nanotech-now.com
www.nanoforum.org
www.nanonet.go.jp
www.nanochina.cn
www.luxresearchinc.com

Специализированные международные журналы

Current Nanoscience
Fullerens, Nanotubes and Carbon Nanostructures
IEEE Transactions on Nanobioscience
IEEE Transactions on Nanotechnology
International Journal of Nanomanufacturing (с 2006 г.)
International Journal of Nanoscience
International Journal of Nanomedicine (с 2006 г.)
Journal of Aerosol Science
Journal of Biomedical Nanotechnology
Journal of Cluster Science Including Nanoparticle Materials
Journal of Colloid and Interface Science
Journal of Computational and Theoretical Nanoscience
Journal of Experimental Nanoscience (с 2006 г.)
Journal of Metastable and Nanocrystalline Materials
Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics
Journal of Nanomaterials (с 2006 г.)

Journal of Nanoparticle Research
Journal of Nanoscience and Nanotechnology
Journal of Nanotechnology Online (с 2006 г.)
Journal of Sol-Gel Science and Technology
Journal of Vacuum Science & Technology B: Microelectronics and Nanometer Structures
Microporous and Mesoporous Materials
Microsystem Technologies. Micro- and Nanosystems Information Storage and Processing Systems
Nanoletters
Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and medicine
Нано- и микросистемная техника
NanoS- The Nanotech Journal
Наноструктурное материаловедение
Нанотехника
Nanoscale Research Letters (с 2006 г.)
Nanotechnology
Nanotoxicology (с 2006 г.)
Nanotrends (с 2006 г.)
Nature. Nanotechnology (с 2006 г.)
Photonics and Nanostructures. Fundamentals & Applications
Physics of Low-Dimensional Structures
Physics E: Low-Dimensional Systems & Nanostructures
Precision Engineering: Journal of the Intern. Society Precision Engineering and Nanotechnology Русские нанотехнологии (с 2006 г.)
Small
Synthesis and Reactivity in Inorganic, Metal-Organic and Nano-Metals Chemistry
Superlattices and Microstructure
Virtual Journal of Nanoscale Science and Technology (on line available at: ojps.aip.org/journals/doc/VIRTOI-home)

БИБЛИОГРАФИЯ

AFOSR (2002) "Research Interests of the Air Force Office of Scientific Research and Broad Agency Announcement 2003-1". October 2002. Online, available at: www.afosr.af. mil/pages/BAA2003A.htm (accessed 23 April 2003).

(2003) Air Force Office of Scientific Research, "AFRL Directorates". доступно н l Online, available at: www.afosr.af.mil/afrdir.htm (accessed 15 April 2003).

Altmann J. (1986) Laserwaffen – Gefahren fur die strategische Stabilitdt und Miiglichkciten der vorbeugenden Riistungsbegrenzung. Schriftenreihe des Arbeitskreises Marburger Wissenschaftler filr Friedens- und Abriistungs-forschung Nr. 2. Marburg: Fachbereich Physik der Philipps-Universitat (shortened: HSFK-Report 3/1986. Frankfurt/M.: Hessische Stiftung Friedens- und Konfliktforschung).

(1994) "Verifying Limits on Research and Development – Case Studies: Beam Weapons. Electromagnetic Guns», in J. Altmann. T. Stock and J.-P. Stroot (eds) Verification After the Cold War – Broadening the Process. Amsterdam: VU Press.

(2000) «Zusammenhang zwischen zivilen und militarischen Hochtechnologien am Beispiel der Luftfahrt in Deutschland'. in J. Altmann (ed.) Dual-use in der Hoc/ itechnologie – Erfahrungen. Strategien und Perspektiven in Telekommunika-tion und Luftfahrt, Baden-Baden: Nomos.

(2001) Military Applications of Microsystem Technologies – Dangers and Preventive Arms Control. Munster: agenda.

(2001a) «Non-lethal Weapons Technologies – the Case for Independent Scientific Analysis'. Medicine. Conflict and Survival 17 (3): 234–247.

(2003) «Roboter fur den Krieg?'. Wissenschaft and Frieden 21 (3): 18-21.

(2004) "Military Uses of Nanotechnology: Perspectives and Concerns". Security Dialogue 35 (L): 61-79.

Altmann J. and Gubrud M. (2002) "Risks from Military Uses of Nanotechnology -the Need for Technology Assessment and Preventive Control", in M. Roco and R. Tomellini (eds) Nanotechnology – Revolutionary Opportunities and Societal Implications. Luxembourg European Communities. Online, available at: www.ep3.ruhr-uni-bochuin.de/bvp/RiskMilNT_Leece.pdf (accessed 30 Aug. 2002).

Altmann J. and Scheffran J. (2003) «New Rules in Outer Space: Options and Scenarios', Security Dialogue 34 (1): 109-116.

Andrievski R.A. (2003) «Modern Nanoparticle Research in Russia', Journal of Nanoparticle Research 5 (5-6): 415-418

Anton P.S.. Silberglitt R. and Schneider J. (2001) The Global Technology Revolution – Bio/Nano/Materials Trends and Their Synergies with Information Technologies by 2015, Santa Monica CA: RAND.

APMC (1997) «Convention on the Prohibition of the Use, Stockpiling, Production and Transfer of Anti-Personnel Mines and on their Destruction, 18 Sept. 1997'. Online, available at: www.mines.gc.ca/english/documents/treaty.html (accessed 19 Feb. 2001).

ARL (2002) «Nanomaterials Research». Online, available at: www.arl.army.mil/ wmrd/ Tech/nanoboth.pdf (accessed 24 Jan. 2003).

Armstrong R.E. and Warner J.B. (2003) «Biology and the Battlefield», Defense Horizons, no. 25. Online, available at: www.ndu.edu/inss/DefHor/DH25/ DH25.pdf (accessed 8 Dec. 2003).

Army News (2002) «Army Teams with MIT to Establish ISN'. U.S. Army News Release. March 13, 2002. Online, available at www.dtic.mil/armylink/news/ Mar2002/ r20020313r-02-01 l.html (accessed 15 March 2002).

Army RDT&E (2001) U.S. Army, Supporting Data for the FY 2002 Amended President's Budget Submitted to Congress – Julv 2001. Descriptive Summaries of the RDT&E Army Appropriations, Budget Activities 1. 2. and 3. Online, available at: www.asafm.army.mil/budget/fybm/FY02/rforms/voll/voll.pdf (accessed 26 Feb. 2003).

Arnall A.H. (2003) Future Technologies, Todav's Choices- Nanotechnology, Artificial Intelligence and Robotics: A Technical, Political and Institutional Map of Emerging Technologies. London: Greenpeace Environmental Trust. Online. available at www.greenpeace.org.uk/Multimedia/Live/FullReport/5886.pdf (accessed 4 Aug. 2003).

Arnett E. (1999) «Military Research and Development», pp. 351-370 in SIPRI-Yearbook 10QQ – World Armaments and Disarmament. Stockholm/Oxford: SIPRI Oxford University Press.

ARO Displays (2001) "Nanoscience for the Soldier, sub-group on Detectors. Antennae. Displays", in Proceedings from the Workshop on Nanoscience for the Soldier. sponsored by the Army Research Office, February 8-9, 2001. held at the North Carolina Biotechnology Center. Durham NC. Online, available at: www.aro.army.mil/phys/Nanoscience/sec4nano.htm (accessed 10 Sept. 2002).

ARO Materials (2001) «Materials Group Worksheets', in Proceedings from the Workshop on Nanoscience for the Soldier, sponsored bv the Army Research Office. February 8-9, 2001. held at the North Carolina Biotechnology Center, Durham NC. Online, available at: www.aro.army.mil/phys/Nanoscience/ sec4materiall.html (accessed 10 Sept. 2002).

ARO Nanoscience (2001) Proceedings from the Workshop on Nanoscience for the Soldier, sponsored by the Army Research Office, February 8-9. 2001, held at the North Carolina Biotechnology Center. Durham NC. Online, available at: www.aro.army.mil/phys/Nanoscience (accessed 10 Sept. 2002).

ARO Power (2001) «Power and Cooling», in Proceedings from the Workshop on Nanoscience for the Soldier, sponsored bv the Army Research Office, February 8-9. 2001. held at the North Carolina Biotechnology Center. Durham NC. Online. available at: www.aro.army.mil/phys/Nanoscience/sec4power.htm (accessed 10 Sept. 2002).

ARO Soldier (2001) "Soldier Status Monitoring», in Proceedings from the Workshop on Nanoscience for the Soldier, sponsored by the Army Research Office, February 8-9. 2001, held at the North Carolina Biotechnology Center, Durham NC. Online, available at: www.aro.army.mil/phys/Nanoscience/sec4soldier.htm (accessed 10 Sept. 2002).

ARO Solicitation (2001) US Army Research Office, «Broad Agency Announcement, Institute for Soldier Nanotechnologies'. October 2001. Online, available at: www.aro.army.mil/soldiernano/finalsolicit.pdf (accessed 20 Jan. 2003).

Ashley S. (2001) "Nanobot Construction Crews". Scientific American 285 (3): 84-85.

Bachmann G. and Zweck A. (2001) "Nanotechnologie und ihre Folgen", Wechsel-Wirkung 23 (110): 36-42.

Bai C. (2001) "Progress of Nanoscience and Nanotechnology in China». Journal of Nanoparticle Research 3 (4): 251-256.

Bainbridge W.S. (2003) "Challenge and Response», speech at awards ceremony of the Transvision 2003 conference. July 9, 2003 (conference: 25-29 June, 2003). Online. available at: www.transhumanism.com/articles_print. php.id = P697J)_4_0_C. mysite.verizon.net/william.bainbndge/ (accessed 5 Aug. 2003).

Barletta M.. Sands A. and Tucker J.B. (2002) «Keeping Track of Anthrax: The Case for a Biosecurity Convention». Bulletin of the Atomic Scientists 58 (3): 57-62.

BICC (2001) Bonn International Center for Conversion, conversion survev 2001 -Global Disarmament, Demilitarization and Demobilization. Baden-Baden: Nomos.

Bhushan B. (ed.) (2004) Springer Handbook of \anotechnologv. Berlin etc.: Springer.

Bishop F. (1997) «Some Novel Space Propulsion Systems', draft paper for a talk at the Fifth Foresight Conference on Molecular Nanotechnology. Online, available at: www.foresight.org/Conferences/MNT05/Papers/Bishop (accessed 16 Oct. 2001).

Blumrich R. (1998) «Technical Potential. Status and Costs of Ground Sensor Systems', in J. Altmann, H. Fischer and H. van der Graaf (eds) Sensors for Peace – Applications. Systems and Legal Requirements for Monitoring in Peace Operations. UN Institute for Disarmament Research. New York/Geneva: UNO.

BMBF (1998) \'anotechnologie – Innovationsschub aus dem Nanokosmos. Bonn: Bundesministenum fur Bildung, Wissenschaft. Forschung und Technologie (2002) Nanotechnologie in Deutschland – Standortbestimmung. Bonn: Bundesministenum fur Bildung und Forschung.

Bostrom N. (2002) "Existential Risks – Analyzing Human Extinction Scenarios and Related Hazards». Journal of Evolution and Technology 9. Online, available at: www.jetpress.org/volume9/risks.htm (accessed 7 Nov. 2003).

Brauch H.G.. van der Graaf H.. Grin J. and Smit W. (1997) Militdrtechnikfolgenabschdtzung und preventive Riistungskontrolle – Institutionen, Verfahren und Instrumente. Miinster/Hamburg: Lit.

Brendlev K. and Steeb R. (1993) Military Applications of Microelectromechanical Systems, MR-175-OSD/AF/A, Santa Monica CA: RAND.

Brooks R.A. (2002) Flesh and Machines: How Robots Will Change Us. New York: Pantheon.

BRTF (2003) Better Regulation Task Force, Scientific Research: Innovation with Controls. Online, available at: www.brtf.gov.uk/taskforce/reports/Scientificresearch.pdf (accessed 24 Jan. 2003).

Brumfiel G. (2003) "A Little Knowledge...". Nature 424 (6946): 246-248.

Brzoska M. (2000) «Sozialwissenschaftliche Forschung zum Dual-use in der Luft-fahrt'. in J. Altmann (ed.) Dual-use in der Hochtechnologie – Erfahrimgen, Strategien unci Perspektiven in Telekommunikation unit Luftfahrt. Baden-Baden: Nomos.

BTWC (1972) «Convention on the Prohibition of the Development, Production and Stockpiling of Bacteriological (Biological) and Toxin Weapons and on Their Destruction'. Online, available at: www.opcw.org/html/db/cwc/more/biotox.html (accessed 5 Feb. 2004).

Burgess D.E. (2002) "UK MoD"s Nanotechnology Initiatives', viewgraphs presented at Defence Nanotechnology 2002, 31 Oct.-1 Nov., London: Defence Event Management.

Busbee J. (2002) «NanoStructured Materials: Opportunity and Challenge For Aerospace', viewgraphs presented at Defence Nanotechnology 2002. 31 Oct.-1 Nov.. London: Defence Event Management.

BWC AHG (2001) «Rolling Text of a Protocol to the Convention on the Prohibition of the Development. Production and Stockpiling of Bacteriological (Biological) and Toxin Weapons and on their Destruction', Geneva. BWC Ad HocGroup/56-1. Appendices,.. ./56-2 (18 May). Online, available at: www.brad.ac.uk/acad/sbtwc/doc56-1.pdf/doc56-2.pdf (accessed 9 Feb. 2004).

CBWCB (2003) « «Non-lethal» Weapons, the CWC and the BWC, Editorial. The CBW Conventions Bulletin, no. 61. Online, available at: www.sussex.ac.uk/ spru/hsp/cbwcb61.pdf (accessed 5 April 2004).

CEC (2000) "Communication from the Commission on the precautionary" principle'. COM(2000) 1. Brussels. 2 Feb. 2000. Commission of the European Communities. Online, available at, e.g.: europa.eu.int/comm/dgs.health_ consumer/librar\7pub07_en.pdf (accessed 5 April 2004).

CFE (1990) «Treaty on Conventional Armed Forces in Europe'. Online, available at: www.state.gov/www/global/arms/treaties/cfe.html. .. ./cfeadapt.htmi efe-1.html / cfecomm.html (accessed 24 Oct. 2003).

Chen Y.. Jung G.-Y., Ohiberg D.A.A., Li X., Stewart D.R.. Jeppesen J.O.. Nielsen K.A.. Stoddart J.F. and Williams R.S. (2003) «Nanoscale Molecular-switch Crossbar Circuits', Nanotechnology 14 (4): 462—168.

Christaller T., Decker VI., Gilsbach J.-M.. Hirzinger G.. Lauterbach K... Schweighofer E.. Schweitzer G. and Sturma D. (2001) Robotik: Perspektiven fur menschliches Handeln in der zukiinftigen Gesellschaft. Berlin etc.: Springer.

Christodolou L. (2000) "Structural Amorphous Metals (SAM)", Pre-Proposal Workshop June 6. 2000. Online, available at: www.darpa.mil/dso/thrust/matdev/ sam/presentations/christodolou.pdf (accessed 4 March 2003).

CINT (2003) «Center for Integrated Nanotechnologies'. Online, available at: cint.lanl.gov (accessed 27 Jan. 2003).

CMS (2002) Facts & Figures 2002. Chemistry and Materials Science Directorate. Lawrence Livermore National Laboratory, UCRL-AR-129465-02. Online, available at: vvww-cms.llnl.gov/facts_figures_02.pdf (accessed 22 April 2003).
(2003) Facts & Figures 2003. Chemistry and Materials Science Directorate. Lawrence Livermore National Laboratory, UCRL-AR-129465-03. Online, available at: www-cms.llnl.gov/facts_figures_03.pdf (accessed 22 April 2003).

Cochran T.B., Arkin W.M. and Hoenig M.M. (1984) Nuclear Weapons Databook. Volume I – U.S. Nuclear Forces and Capabilities. Cambridge MA: Ballinger.

Colton R. (2003) "Nanoscience Research in the NRL Chemistry Division". Online, available at: nanoscience.nrl.navy.mil/files/NRL NanoscLChem Open House.zip/.. .pdf (accessed 15 April 2003).

Colvin V.L. (2003) Testimony. U.S. House of Representatives, Committee on Science. April 9, 2003. Online, available at: www.house.gov/science/hearings/full03/apr()9/colvin.htm (accessed 5 May 2003).

Commission (1999) The United States Commission on National Security/21st Century. New World Coming: American Security in the 21st Century – Major Themes and Implications. Washington DC: The Commission (15 Sept. 1999) [cited after Metz (2000)].

Compano R. and Hullmann A. (2002) «Forecasting the Development of Nanotechnology with the help of Science and Technology Indicators', Nanotechnology 13 (3): 243-247.

Congress (2003) '21st Century Nanotechnology and Development Act'. 108th Congress. 1st Session. S.189. Online, available at, e.g.: www.smalltimes.com/smallstage/images/nanobills 189.pdf (accessed 15 Dec. 2003).

COSTIND (2002) «State Commission of Science. Technology, and Industry for National Defense (COSTIND)'. Online, available at: www.nti:org/db/china/ costind.htm (accessed 16 Sept. 2002)

Crandall B.C. (ed.) (1996) Nanotechnology – Molecular Speculation on Global Abundance. 3rd printing. Cambridge MA/London: MIT Press.
(1996a) "Molecular Engineering», in B.C. Crandall (ed.). Nanotechnology – Molecular Speculation on Global Abundance. 3rd printing, Cambridge MA/London: MIT Press.

Crandall B.C. and Lewis J. (1992) Nanotechnology – Research and Perspectives. Papers from the First Foresight Conference on Nanotechnology. 3rd printing, Cambridge MA/London: MIT Press.

CRN (2003) Center for Responsible Nanotechnology, "CRN Research: Current Results – Dangers of Molecular Nanotechnology». Online, available at: www.crnano.org/dangers.htm; "CRN Research: Current Results – No Simple Solutions", www.crnano.org/solutions.htm (accessed 25 April 2003).

CWC (1993) «Convention On the Prohibition of the Development. Production, Stockpiling and Use of Chemical Weapons and on their Destruction'. Online. available at: www.opcw.org/cwc/cwc-eng.htm (accessed 16 Aug. 2001).

DARPA Activity (2003) «Activity Detection Technology/Tissue-Based Biosensors'. Online, available at: www.darpa.mil/dso/thrust/biosci/adt-tbbs.htm (accessed 5 May 2003).

DARPA AugCog (2003) «Augmented Cognition». Online, available at: www. darpa.mil/ipto/research/ac/index.html,.. ./objectives.html (5 May 2003).

DARPA Biocomp (2003) "Bio-Computation". Online, available at: www.darpa.mii/ipto/research/biocomp/index.html. .. ./vision.html. .. ./challenges.html (accessed 5 May 2003).

DARPA BioFlips (2003) «BioFlips». Online, available at: www.darpa.mil/dso/thrust/biosci/bioflips.htm (accessed 5 May 2003).

DARPA BioMagnetICs (2003) -Bio-Magnetic Interfacing Concepts (BioMagnet- ICs)'. Online, available at: www.darpa.mil/dso/thrust/biosci/biomagn.htm (accessed 5 May 2003).

DARPA Biomolecular (2003) "Biomolecular Motors". Online, available at: www.darpa.mil/dso/thrust/biosci/biomomo.htm (accessed 5 May 2003).

DARPA BIOS (2003) «Biological Input/Output Systems'. Online, available at: www.darpa.mil/dso/thrust/biosci/bios.htm (accessed 29 April 2003).

DARPA Biosensor (2003) "Biosensor Technologies". Online, available at: www.darpa.mil/dso/thrust/biosci/biostech.htm (accessed 5 May 2003). DARPA BMI (2003)
«Brain Machine Interfaces'. Online, available at: www.darpa.mil/dso/thrust/sp/bmi.htm (accessed 16 Jan. 2003). DARPA BOSS (2003) «Bio-Optic Synthetic Lens (BOSS)'. Online, available at: www.darpa.mil/dso/thrust/biosci/boss.htm (accessed 5 May 2003).

DARPA Budget (2002) Fiscal Year 2003 Budget Estimates, Feb. 2002. Research. Development, Test and Evaluation, Defense-Wide, Vol. I – Defense Advanced Research Projects Agency. Online, available at: www.darpa.mil/body/pdf/FY03BudEst.pdf (accessed 4 Nov. 2002).
(2003) Fiscal Year (FY) 2004/FY 2005 Biennial Budget Estimates. Feb. 2003. Research. Development. Test and Evaluation. Defense-Wide. Vol. I – Defense Advanced Research Projects Agency. Online, available at: www.darpa.mil/body/ pdf/FY04_FY05BiennialBudgetEstimatesFeb03.pdf (accessed 16 Feb. 2004).

DARPA CAP (2003) «Continuous Assisted Performance (CAP)». Online, available at: www.darpa.mil/dso/thrust/biosci/cap.htm (accessed 29 April 2003). DARPA CBS (2003) «Controlled Biological and Biomimetic Systems'. Online, available at: www.darpa.mil/dso/thrust/biosci/cbs.htm. . . ./biosci/cbs/overview.html, .. ./biosci/cbs/cprogram.html (accessed 13 Feb. 2004).

DARPA Countermeasures (2003) "Unconventional Pathogen Countermeasures". Online, available at: www.darpa.mil/dso/thrust/biosci/upathcm.htm (accessed 5 May 2003).

DARPA CSAC (2003) «CSAC – Chip-Scale Atomic Clock'. Online, available at: www.darpa.mil/mto/csac/overview/index.html (accessed 5 May 2003).

DARPA Diagnostics (2003) «Advanced Diagnostics'. Online, available at: www.darpa.mil/dso/thrust/biosci/advdiagn.htm (accessed 5 May 2003).

DARPA Energy (2002) «Energy Harvesting – Projects & Accomplishments, Implantable Biofuel Cell Electrodes'. Online, available at: www.darpa.mil/dso/ trans/energy/pa_uta.html (accessed 28 April 2003).
(2003) «Advanced Energy Technologies'. Online, available at: www.darpa.mil/dso/thrust/matdev/advancet.htm (accessed 5 May 2003).

DARPA ETC (2003) «Engineered Tissue Constructs'. Online, available at: www.darpa.mil/dso/thrust/biosci/etc.htm (accessed 29 April 2003).

DARPA Fact (2003) Fact File – A Compendium of DARPA Programs, August 2003. Online, available at: www.darpa.mil/bodv/pdf/FINAL2003FactFilerevl.pdf (accessed 26 Feb. 2004).

DARPA Genomics (2003) «Pathogen Genomic Sequencing'. Online, available at: www.darpa.mil/dso/thrust/biosci/genomics.htm (accessed 5 Mav 2003).

DARPA MARS (2003) «Mobile Autonomous Robot Software (MARS)'. Online, available at: www.darpa.mil/ipto/research/mars/index.html. .. ./vision.html (accessed 5 May 2003).

DARPA MEMS (2003) «DARPA MEMS – Project Summaries'. Online, available at: www.darpa.mil/mto/mems/summaries/Projects/index.html (accessed 5 May 2003)... ./summaries/projects/university_44.html (accessed 14 Jan. 2003).

DARPA Metabolic (2003) «BAA03-02, Addendum 2, Special Focus Area: Metabolic Dominance». Online, available at: www.darpa.mil/baa/baa03-02mod2.htm (accessed 5 May 2003).

DARPA MetaEng (2003) «Metabolic Engineering for Cellular Stasis'. Online, available at: www.darpa.mil/dso/thrust/biosci/metaeng.htm (accessed 29 April 2003).

DARPA MetaMaterials (2003) «MetaMatenals'. Online, available at: www.darpa. mil/dso/thrust/matdev/metamat.htm (accessed 5 May 2003).

DARPA MOLDICE (2003) «Engineered Bio-Molecular Nano-Devices/Systems (MOLDICE)'. Online, available at: www.darpa.mil/dso/future/moldice (accessed 5 May 2003).

DARPA Mole (2003) «Molecular Electronics (Moletronics)'. Online, available at: www.darpa.mil/MTO/mole (accessed 5 May 2003).

DARPA MOSAIC (2003) «Molecular Observation. Spectroscopy and Imaging using Cantilevers (MOSAIC)'. Online, available at: www.darpa.mil/dso/thrust/ biosci/ mosaic.htm (accessed 5 May 2003).
DARPA MPG (2003) «MPG – Micro Power Generation'. Online, available at: www.darpa.mil/mto/mpg (accessed 5 May 2003).
DARPA QuIST (2003) «Quantum Information Science and Technology (QuIST)'. Online, available at: www.darpa.mil/dso/thrust/math/quist.htm (accessed 14 April 2003).
DARPA SAM (2003) «Structural Amorphous Metals (SAM)'. Online, available at: www.darpa.mil/dso/thrust/matdev/sam.htm. «Presenta-tions', www.darpa.mil/dso/ thrust/matdev/sam/html/presentations.html (accessed 26 Feb. 2003).
DARPA SDR (2003) «Software for Distributed Robotics (SDR)'. Online, available at: www.darpa.mil/ipto/research/sdr/mdex.html. .../vision.html (accessed 5 May 2003).
DARPA SIMBIOSYS (2003) «Simulation of Bio-Molecular Microsystems (SIMBIOSYS)'. Online, available at: www.darpa.mil/dso/thrust/biosci/simbios.htm (accessed 5 May 2003).
DARPA Smart (2003) "Smart Materials and Structures". Online, available at: www.darpa.mil/dso/thrust/matdev/md_smas.htm (accessed 5 May 2003).
DARPA SPINS (2003) «SPins IN Semiconductors (SPINS)'. Online, available at: www.darpa.mil/dso/thrust/matdev/spins.htm (accessed 5 May 2003).
DARPA Spintronics (2003) "Spin Transport Electronics (Spintronics)". Online. available at: www.darpa.mil/dso/thrust/matdev/spintron.htm (accessed 5 May 2003).
DARPA SPSS (2003) Small Scale Propulsion Systems'. Online. available at: www.darpa.mil/tto/Programs/ssps.html (accessed 25 April 2003).
DARPA SUNY (2003) «Development of Biomimetic Robots and Sensors Using Hybrid Brain-Machine Technology'. SUNY Health Science Center at Brooklyn. Online, available at: www.darpa.mil/dso/thrust/biosci/cbs/suny_ab.html (accessed 13 Feb. 2004).
DARPA TTO (2003) Unmanned Systems – Tactical Multipliers – Space'. Online available at: www.darpa.mil/tto/programs.html (accessed 6 May 2003).
Devine M. (2002) «Manufacturing, Research, Development, and Education (RDE) Center for Nanotechnologies», viewgraphs presented at Defence Nanotechnology 2002. 31 Oct.-1 Nov., London: Defence Event Management.
De Wild M., Berner S., Suzuki H., Ramoino L. Baratoff A. and Jung T.A. (2003) «Molecular Assembly and Self-Assembly – Molecular Nanoscience for Future Technologies', Annals of the New York Academy of Sciences 1006 (1): 291-305.
DoD (2001) Department of Defense. Space Technology Guide. FY 2000-01. Office of the Secretary of Defense. Online, available at: www.space.gov/technology/ myer.pdf (accessed 29 Jan. 2002).
DoD fellowships (2001) «National Nanotechnology Initiative. Activities: DoD Fellowships in Nanoscience for FY01'. Online, available at: www.nano.gov/ durintfellow01.htm (accessed 20 Jan. 2003).
DoE (2003) "Nanoscale Science, Engineering, and Technology Research (NSET)". Online, available at: www.sc.doe.gov/bes/NNI.htm (accessed 22 April 2003).
Dowding R.J. (2003) «Materials for Kinetic Energy Penetrators'. Structural Amorphous Metals (SAM) Pre-Proposal Conference, June 6. 2000. Arlington. VA. Online, available at: www.darpa.mil/dso/thrust/matdev/sam/html/presentations/ bdowding.pdf (accessed 26 Feb. 2003).

Drexler K.E. (1981) «Molecular Engineering: An Approach to the Development of General Capabilities for Molecular Manipulation». Proceedings of the National Academy of Sciences 78 (9): 5275-5278.
(1986/1990) Engines of Creation – The Coming Era of Nanotechnology. New-York: Anchor/Doubleday.
(1992) Nanosystems – Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation. New York etc.: Wiley.
Drexler E. and Peterson C. (with Gayle P.) (1991) Unbounding the Future: the Nanotechnology Revolution, New York: Morrow. Online, available at: www.foresight.org/UTF/Unbound_LBW/index.html (accessed 17 July 2001).
Drexler K.E. and Smalley R.E. (2003) «Nanotechnology – Drexler and Smalley make the case for and against «»molecular assemblers'». Chemical & Engineering NewsHI (48): 37-42.
Drexler K.E.. Forrest D., Freitas R.A., Hall J.S.. Jacobstein N., McKendree T.. Merkle R. and Peterson S. (2001) «On Physics. Fundamentals, and Nanorobots: A Rebuttal to Smalley's Assertion...». Foresight Update no. 46: 6-7 (30 Sept.). Online, available at: www.imm.org/SciAmDebate2/smalley.html (accessed 4 Nov. 2003).
(2001a) «Many Future Nanomachines: A Rebuttal to Whiteside's Assertion...', Foresight Update no. 46: 8-17 (30 Sept.). Online, available at: www.imm.org/ SciAmDebate2/whitesides.html (accessed 4 Nov. 2003).
DURINT (2001) «The DoD Fiscal Year 2001. Defense University Initiative on Nanotechnology'. Online, available at: www.onr.navy.mil/sci_tech/special/durint/ durint01baa.htm (accessed 17 July 2001).
(2001a) «Nanotechnology Research Awards Announced'. Online, available at: www.defenselink.mil/news/Feb2001/b02232001J_bt79-01.html (accessed 17 Sept. 2002).
(2001b) «FY 2001 DURINT Equipment'. Online, available at: www. defenselink.mil/ news/Feb2001/d20010223equip.pdf (accessed 17 July 2001).
(2001c) «FY 2001 DURINT'. Online, available at: www.defenselink. mil/news/ Feb2001/d20010223durint.pdf (accessed 17 July 2001).
EC (2004) Commission of the European Communities. On the Implementation of the Preparatory Action on the Enhancement of the European Industrial Potential in the Field of Security Research. Towards a Programme to Advance European Security through Research and Technology', COM(2004) 72 final, Brussels. 3 Feb. 2004. Online, available at: europa.eu.int/eur-lex/en/com/cnc/2004/comm 2004 0072en01.pdf (accessed 5 April 2004).
Edwards B.C. (2000) The Space Elevator. Manuscript for NASA Institute for Advanced Concepts. Online, available at: www.niac.usra.edu/files/studies/finaL report/pdf/ 472Edwards.pdf (accessed 13 Dec. 2002).
(2000a) «Design and Deployment of a Space Elevator'. Acta Astronautica 47 (19): 735-744.
EML (2005) Selected Papers from the 11th Symposium on Electromagnetic Launch Technology. IEEE Transactions on Magnetics 39 (1).
ENMOD (1977) «Convention on the Prohibition of Military or Any Other Hostile Use of Environmental Modification Techniques'. Online, available at: www.opcw.org/ html/db/cwc/more/enmod.html (accessed 5 Feb. 2004).
ETC (2003) From Genomes to Atoms – The Big Down – Atomtech: Technologies Converging at the Nanoscale. Winnipeg: ETC Group. Online. available at: www.etcgroup.org/documents/TheBigDown.pdf (accessed 3 Feb. 2003).

(2005a) No Small Matter II: The Case for a Global Moratorium – Size Matters!. ETC Group Occas. Paper Series 7(1). Online, available at: www.etc group.org/ documents/Occ_Paper_Nanosafety.pdf (accessed 25 April 2003).

EU FP6 NMP (2003) «Nanotechnology and Nanosciences. Knowledge-Based Multifunctional Materials. New Production Processes and Devices'. Online, available at: www.cordis.lu/nmp/home.html (accessed 4 Nov. 2003).

Evison D.. Hinsley D. and Rice P. (2002) "Chemical Weapons". British Medical Journal 324 (7333): 332-335.

Feakes D. and Littlewood J. (2002) "Hope and Ambition turn to Dismay and Neglect: The Biological and Toxin Weapons Convention in 2001". Medicine, Conflict and Survival 18 (2): 161-174.

Feynman R. (1959) "There"s Plenty of Room at the Bottom: An Invitation to Enter a New Field of Physics', speech. 29 December 1959, American Physical Society Annual Meeting, California Institute of Technology, originally published: Engineering and Science (CalTech). Feb. 1960: 22-36. Online, available at. e.g.: www.its.caltech.edu/ ~feynman. www.zyvex.com/nanotech/fevnman.html (accessed 25 Aug. 2003).

Foresight (1995) Fourth Foresight Conference on Molecular Nanotechnology. 1995. Online, available at: www.zyvex.com/nanotech/nano4.html (accessed 4 Nov. 2003).

(1995a) "Space Development Advocates Support Nanotechnology», Foresight Update no. 20: (5). Online, available at: www.foresight.org/Updates/Update20/ Update20.5.html (accessed 16 Oct. 2001).

(2000) "Foresight Guidelines on Molecular Nanotechnology". Revised Draft Version 3.7: June 4. 2000. Online, available at: www.foresight.org/guidelines/ current.html (accessed 14 April 2003).

(2002) Foresight Update no. 48: 2. Online, available at: www.foresight. org/Updates/ Update48/Update48.2.html (accessed 4 Nov. 2003).

(2003) "Nanotechnology Prizes and Awards Sponsored by Foresight". Online, available at: wvvvv.foresight.org/FI/fi_spons.html (accessed 25 Aug. 2003).

(2003a) -Foresight Nanotechnology FAQ – About Foresight Institute'. Online, available at: www.foresight.org/NanoRev/FIFAQ3.html (accessed 3 Nov. 2003).

Frackowiak E. and Beguin F. (2002) "Electrochemical Storage of Energy in Carbon Nanotubes and Nanostructured Carbons". Carbon 40 (10): 1775-1787.

Franks A. (1987) "Nanotechnology", Journal of Physics E: Scientific Instruments 20 (12): 1442-1451.

Freitas R.A. (1996/99) "Respirocytes – A Mechanical Artificial Red Cell: Exploratory Design in Medical Nanotechnology". Online, available at: www.foresight.org/ Nanomedicine/Respirocvtes.html (accessed 18 Aug. 2003).

(1999) Nanomedicine. Vol. I: Basic Capabilities, Georgetown TX: Landes Bioscience.

(2000) "Some Limits to Global Ecophagy by Biovorous Nanoreplicators, with Public Policy Recommendations'. Online, available at: www.foresight.org/ NanoRev/ Ecophagy.html (accessed 20 Julv 2001).

Geiger G. (2003) Riistungspotentiale neuer Mikrotechnologien – Konsequenzen fitr Internationale Sicherheit unci Riistungskontrolle. SWP-Studie S 24, Berlin: Stiftung Wissenschaft und Politik.

Glaser A. (2002) "The Conversion of Research Reactors to Low-Enriched Fuel and the Case of the FRM-II». Science and Global Security 10 (I): 61-79.

Glasstone S. and Dolan P.J. (1977) The Effects of Nuclear Weapons. Washington DC: US Department of Defense and Energy Research and Development Administration/ US Government Printing Office.

Goddard III W.A.. Brenner D.W., Lyshevski S.E. and Iafrate G.J. (eds) (2002) Handbook of Nanoscience. Engineering, and Technology. Boca Raton FL: CRC Press.

Goronkin H.. von Allmen P.. Tsui R.K. and Zhu T.X. (1999) "Functional Nanoscale Devices", in R.W. Siegel. E. Hu and M.C. Roco (eds) Nanosiructure Science and Technology – A Worldwide Study. Baltimore MD: WTEC, Loyola College. Also: Boston etc.: Kluwer. Online, available at: www.wtec.org/loyola/ pdf/nano.pdf (accessed 25 April 2003).

Gracias D.H.. Tien J.. Breen T.L.. Hsu C. and Whitesides G.M. (2000) "Forming Electrical Networks in Three Dimensions by Self-Assembly". Science 298 (5482): 1170-1172.

Gronlund L.. Wright D.C.. Lewis G.N. and Coyle III P.E. (2004) Technical Realities – An Analysis of the 2004 Deployment of a U.S. National Missile Defense System. Cambridge MA: Union of Concerned Scientists.

Gross M. (1999) Travels to the Nanoworld – Miniature Machinery in Nature and Technology. Cambridge MA: Perseus.

Gsponer A. (2002) «From the Lab to the Battlefield? Nanotechnology and Fourth-Generation Nuclear Weapons'. Disarmament Diplomacy, no. 67. Online, available at: www.acronym.org.uk/dd/dd67/67opl.htm (accessed 11 Nov. 2002).

Gsponer A. and Hurni J.-P. (2000) The Physical Principles of Thermonuclear Explosives. Inertial Confinement Fusion, and the Quest for Fourth Generation Nuclear Weapons. 7th edn, INESAP Technical Report no. I. Darmstadt: IANUS. Darmstadt University of Technology.

Gubrud M. (1989) "Nanotechnology in Warfare». Foresight Update no. 5 (1 March 1989). Online, available at: www.foresight.org/Updates/Update05/Update05.2. html (accessed 23 Jan. 2001).

(1997) "Nanotechnology and International Security», paper presented at 5th Foresight Conference on Molecular Nanotechnology. Online, available at: www.foresight.org/Conferences/MNT05/Papers/Gubrud (accessed 31 Oct. 2000).

Haberzettl C.A. (2002) "Nanomedicine: destination or journey?». Nanotechnology 13(4): R9-R13. Hall J.S. (1999) "Architectural considerations for self-replicating manufacturing systems". Nanotechnology 10 (3): 323-330. Hall S.S. (2003) "The Quest for a Smart Pill". Scientific American 289 (3): 54-65.

Hanson R. (1998) "A Critical Discussion of Vinge"s Singularity Concept'. Online. available at: www.extropy.org/ideas/journal.previous/1998/10-01.html (accessed 23 June 2003).

Harper T. (2002) «The nanotechnology arms race: why nobody wants to be left behind'. 14 Nov. 2002. Online, available at: www.nanotechweb.org/articles/ column/I/II/I/I (accessed 25 Aug. 2003).

(2003) "What is Nanotechnology?". Nanotechnology 14 (1): [no p.].

Hartmann R.. Heydrich W. and Meyer-Landrut N. (1992) Kommentar z.um Vertrag liber Konventionelle Streitkrdfte in Europa. SWP-S 375. Ebenhausen: Stiftung Wissenschaft und Politik.

Heller A. (1998) "Keeping Laser Development on Target for the National Ignition Facility". Science & Technology Review (March): 4-13.

(1999) "Target Chamber"s Dedication Marks a Giant Milestone». Science & Technology Review (September): 16-19.
Henley L.D. (1999) "The RMA After Next». Parameters 29: 46-57. Hoag H. (2003) "Remote Control». Nature 423 (6942): 796-798. Holdridge G.M. (ed.) (1999) Russian Research and Development Activities on Nanoparticles and Nanostructured Materials. Baltimore MD: International Technology Research Institute. Online, available at: wtec.org/loyola/nano; Russia/nanorussia.pdf (accessed 25 April 2003).
House (2003) Committee on Science. U.S. House of Representatives. Hearing Charter. The Societal Implications of Nanotechnology». April 9. 2003. Appendix 1. Online, available at: www.house.gov. science/hearings/full()3/apr09/charter. htm (accessed 5 May 2003).
Houser E.J. and McGill R.A. (2002) "Chemical Sensor Applications of Nanomaterials». viewgraphs presented at Defence Nanotechnology 2002, 31 Oct.-1 Nov., London: Defence Event Management. Howard C.V. (2003) "Nano-particles and Toxicity», in No Small Matter II: The Case for a Global Moratorium – Size Matters!, ETC Group Occas. Paper Series 7(1). Online, available at: www.etcgroup.org/documents/ Occ_Paper_Nanosafety.pdf (accessed 25 April 2003).
Howard S. (2002) "Nanotechnology and Mass Destruction: The Need for an Inner Space Treaty», Disarmament Diplomacy, no. 65 (July-August). Online, available at: www.acronym.org.uk/dd/dd65/65op1.htm (accessed 26 Aug. 2002).
Hoyle C. and Koch A. (2002) "Yemen Drone Strike: Just the Start?", Jane's Defence Weekh 38 (20): 3.
HRW (2003) "Human Rights Watch. The United States and the International Criminal Court". Online, available at: hrw.org/campaigns/icc/us.htm (accessed 5 April 2004).
IBM (2002) "IBM"s «Millipede» Project Demonstrates Trillion-Bit Data Storage Density'. Online, available at: www.research.ibm.com/resources/news/ 20020611_millipede.shtml (accessed 26 Sept. 2003).
ICRC (1977) "Protocols Additional to the Geneva Conventions of 12 August 1949". Geneva. International Committee of the Red Cross. Online, available via:www.icrc.org/ihl.nsf (accessed 5 Feb. 2004).
Infocastinc (2003) "NBIC Convergence 2003". Online, available at: www.infocastinc.com/NBIC/nbic.asp (accessed 5 Aug. 2003).
INT (2003) "Wehrtechnische Implikationen der Nanotechnologie». Online, available at: www.int.fhg.de, search: Nanotechnologie (accessed 27 Oct. 2003).
IPSE (2003) Internships In Public Science Education at UW-Madison, "Helping the Public Understand Nanotechnology, Amorphous Metal Activity Guide". Online, available at: mrsec.wisc.edu/edetc/IPSE/Activities%20HTML/Amorph %20Activity%20Guide.html (accessed 26 Feb. 2003).
ISN (2002) Institute for Soldier Nanotechnologies, "Mission and Overview". Online, available at: web.mit.edu/isn/overview.html (accessed 29 Oct. 2002).
ISN 2 (2002) Institute for Soldier Nanotechnologies, "TEAM 2: Mechanically Active Materials & Devices". Online, available at: web.mit.edu/isn/research/ team2.html (accessed 29 Oct. 2002).
ISN O&A (2002) Institute for Soldier Nanotechnology (ISN). "Questions and Answers (provided by the Department of the Army)". MIT News Release. March 13. 2002. Online, available at: web.mit.edu/newsoffice/nr/2002/isnqa.html (accessed 15 March 2002).

ISN Research (2002) Institute for Soldier Nanotechnologies. "Research". Online, available at: web.mit.edu/isn/research/index.html (accessed 29 Oct. 2002).
ITRS (2002) International Technology Roadmap for Semiconductors – 2002 Update. Online, available at: public.itrs.net/Files/2002Update/2002Update.pdf (accessed 10 Nov. 2003).
(2003) International Technology Roadmap for Semiconductors. 2003 Edition, Executive Summary. Online, available at: public.itrs.net/Files/2003ITRS/Exec Sum2003.pdf (accessed 16 Feb. 2004).
IWGN (1999) Nanotechnology Research Directions: TWGN Workshop Report. Washington DC: National Science and Technology Council (Sept. 1999). Online, available at: www.wtec.org/loyola/nano/IWGN.Research.Directions/IWGN-rd. pdf (accessed 10 Sept. 2002).
(1999a) Nanotechnology – Shaping the World Atom by Atom, Washington DC, National Science and Technology Council (Sept. 1999). Online, available at: www.wtec.org/loyola/nano/IWGN.PublicBrochure/IWGN. Nanotechnology.Brochure.pdf (accessed 16 Nov. 2003).
JDCC (2003) Strategic Trends, Shrivenham: Joint Doctrine and Concepts Centre. Online, available at: www.mod.uk/jdcc/trends.htm (accessed 16 Feb. 2004).
Jelinski L. (1999) "Biologically Related Aspects of Nanoparticles, Nanostructured Materials, and Nanodevices". in R.W. Siegel, E. Hu and M.C. Roco (eds) Nanostructure Science and Technology – A Worldwide Study. Baltimore MD: WTEC, Loyola College. Also: Boston etc.: Kluwer. Online, available at: www.wtec.org/ loyola/pdf/nano.pdf (accessed 25 April 2003).
Jeremiah D.E. (1995) "Nanotechnology and Global Security», paper presented at 4th Foresight Conference on Molecular Nanotechnology. Online, available at: www.zyvex.com/nanotech/nano4/jeremiahPaper.html (accessed 14 April 2003).
Jetpress (2003) Journal of Evolution and Technology. Online, available at: www.jetpress.org/index.html (accessed 23 June 2003).
Johnson W.L. (1999) "Bulk Glass-Forming Metallic Alloys: Science and Technology", MRS Bulletin 24 (19): 42-56.
Joy B. (2000) "Why the Future Doesn"t Need Us – Our most Powerful 21st-century Technologies – Robotics, Genetic Engineering, and Nanotech – are Threatening to make Humans an Endangered Species', Wired 8.04. Online, available at: www.wired.com/wired/archive/8.04/joy_pr.html (accessed 16 Jan. 2003).
JV (2000) Joint Vision 2020, General Henry H. Shelton. Chairman of the Joint Chiefs of Staff. Washington DC: Government Printing Office.
Kaehler T. (1996) "In-Vivo Nanoscope and the «Two-Week Revolution'», in B.C. Crandall (ed.) Nanotechnology – Molecular Speculation on Global Abundance, 3rd printing, Cambridge MA/London: MIT Press.
Kafati Z.H. (2003) «Nanoscience Research in Optics'. Online, available at: nanoscience.nrl.navy.mil/files/NANO_RESEARCH_IN_OPTICS.zip, .. .ppt (accessed 15 April 2003).
Killion T.H. (1997) "Army Basic Research Strategy", Military Review 11 (2). Online, available at: www-cgsc.army.mil/milrev/English/MarApr97/Killion.htm (accessed 16 Jan. 2003).
Klaassen CD.. Amdur M.O. and Doull J. (eds) (1986) Casarett and Doull's Toxicology – The Basic Science of Poisons, 3rd edn. New York etc.: Macmillan.

Klabunde K. (2000) "NanoTechnology Solutions to Weapons of Mass Destruction", paper presented at Non-Lethal Technology and Academic Research Symposium, NTAR II. 15-17 Nov. 2000, Portsmouth NH. Online, available at: www.unh.edu/ntar/PDF klabunde.pdf (accessed 28 May 2001).

Koch C. (1999) «Bulk Behavior of Nanostructured Materials', in R.W. Siegel, E. Hu and M.C. Roco (eds) Nanostructure Science and Technology – A Worldwide Study. Baltimore MD: WTEC, Loyola College. Also: Boston etc.: Kluwer. Online, available at: www.wtec.org/loyola/pdf/nano.pdf (accessed 25 April 2003).

Krepon M. (2001) "Lost in Space: The Misguided Drive Toward Antisatellite Weapons". Foreign Affairs 80 (3): 2-8.

Kurzweil R. (1999) The Age of Spiritual Machines – When Computers Exceed Human Intelligence. New York etc.: Penguin.

Lanz W., Odermatt W. and Weihrauch G. (2001) «Kinetic Energy Projectiles: Development History, State of the Art, Trends', 19th International Symposium of Ballistics. 7-11 May 2001, Interlaken. Switzerland. Online, available at: 128.121.234.149/.ttk/symp_19/TB19U91.pdf (accessed 10 Feb. 2003).

Lau K.-T. and Hui D. (2002) «The Revolutionary Creation of Advanced Materials – Carbon Nanotube Composites', Composites Part B 33: 263-277.

LDRD (2003) "Laboratory Directed Research and Development". Online, available at: www.llnl.gov/llnl/04science/LDRD.html (accessed 22 April 2003).

Lee C.K., Wu M.K. and Yang J.C. (2002) "A Catalyst to Change Everything: MEMS/NEMS – a Paradigm of Taiwan"s Nanotechnology Program', Journal of Nanoparticle Research 4 (5): 377-386.

Lee J.-W. (2002) "Overview of nanotechnology in Korea – 10 years blueprint". Journal of Nanoparticle Research 4 (6): 377-386.

Lem S. (1983) The Upside-Down Evolution, available in the collection "One Human Minute", Orlando FL: Harvest/HBJ. 1986.

Leo A. (2002) "The Soldier of Tomorrow – The U.S. Army Enlists the Massachusetts Institute of Technology to Build the Uniform of the Future". Online, available at: www.technologyreview.com/articles/leo032002.asp (accessed 8 April 2002).

Libicki M.C. (1994) The Mesh and the Net – Speculations on Armed Conflict in a Time of Free Silicon. McNair Paper 29, Washington DC: National Defense University. Online, available at: www.shipwright.com/meshnet.html (accessed 23 Jan. 2001).

Lieber CM. (2001) "The Incredible Shrinking Circuit", Scientific American 285 (3): 59-64.

Llinas R.R. and Makarov V.A. (2003) "Brain-Machine Interface via a Neurovascular Approach", in M.C. Roco and W.S. Bainbridge (eds) Converging Technologies for Improving Human Performance – Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science. Boston etc.: Kluwer. Online, available at: www.wtec.org/ConvergingTechnologies/NBIC_report.pdf (accessed 29 Oct. 2003).

Lloyd S. (2000) "Ultimate physical limits to computation». Nature 406 (6799): 1047-1054.

(2002) "Computational Capacity of the Universe". Physical Review Letters 88 (23): 237901-1-237901-4.

MacDonald N.C (1999) "Nanostructures in Motion: Micro-Instruments for Moving Nanometer-Scale Objects", in G. Timp (ed.) Nanotechnology. New York: AIP'Springer.

McKendree T. (1998) "The logical core architecture". Nanotechnology 9 (3): 212-222.

(2001) "Summary of a Dissertation on Molecular Nanotechnology For Space Operations", abstract for presentation at Ninth Foresight Conference on Molecular Nanotechnology. Online, available at: www.foresight.org/conferences/ MNT9/Abstracts/McKendree (accessed 16 Oct. 2001).

Magness L., Kecskes L., Chung VI., Kapoor D., Biancianello F. and Ridder S. (2001) "Behavior and Performance of Amorphous and Nanocrystalline Metals in Ballistic Impacts", paper presented at 19th International Symposium of Ballistics. 7-11 May 2001. Interlaken. Switzerland. Online, available at: 128.121.234.149/.ttk/symp_19/TB181183.pdf (accessed 10 Feb. 2003).

Malanowski N. (2001) Vorstudie fur eine Innovations- and Technikanalyse (ITA) Nanotechnologie. Dusseldorf: VDI-Technologiezentrum (shortened: Frankfurter Rundschau 26 May 2001).

Mano N., Mao F. and Heller A. (2002) "A Miniature Biofuei Cell Operating in A Physiological Buffer". Journal of the American Chemical Societv 124. 12962-12963.

Merkle R.C (1989) "Energy Limits to the Computational Power of the Human Brain". Foresight Update no. 6. Online, available at: www.merkle.com/brainLim-its.html (accessed 23 Jan. 2001).

(1992) "The Risks of Nanotechnology". in B.C. Crandall and J. Lewis (eds) Nanotechnology – Research and Perspectives, Papers from the First Foresight Conference on Nanotechnology. 3rd printing, Cambridge MA/London: MIT Press.

(1997) "A Proposed «Metabolism» for a Hydrocarbon Assembler', Nanotechnology 8 (4): 149-162.

(1999) "Casing an Assembler". Nanotechnology 10 (3): 315-322.

(2000) "Molecular Building Blocks and Development Strategies for Molecular Nanotechnology», Nanotechnology 11 (2): 89-99.

Metz S. (2000) The Next Twist of the RMA», Parameters 30 (3): 40-53. Online, available at: carlisle-www.army.mil/usawc/parameters/OOautumn/metz.htm (accessed 13 Dec. 2002).

Meyer M. (2001) "Socio-economic Research on Nanoscaie Science and Technology: A European Overview and Illustration», in M.C Roco and W.S. Bainbridge (eds) Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology (NSF Report). Boston etc.: Kluwer. Online, available at: www.wtec.org/loyola/nano/ societalimpact/nanosi.pdf (accessed 22 Sept. 2003).

Meyyappan M. and Svrivastava D. (2002) "Carbon Nanotubes». in W.A. Goddard III. D.W. Brenner. S.E. Lyshevski and G.J. Iafrate G.J. (eds) Handbook of Nanoscience, Engineering, and Technology. Boca Raton FL: CRC Press.

Miasnikov E. (2000) "Precision Guided Weapons and Strategic Balance" (in Russian). Dolgoprudny: Center for Arms Control. Energy and Environmental Studies at MIPT. Online, available at: www.armscontrol.ru/start/publications/ vtol 100.htm (accessed 18 April 2002).

Minatec (2001) "Minatec 2001". Online, available at: www.minatec.com/us/minatec.htm... ./minatec.pdf (accessed 18 Jan. 2001).

(2003) "Programme". Online, available at: www.minatec.com/minatec2003" Minatec2003prog.pdf (accessed 5 April 2004).

MIT News (2002) "Army Selects MIT for $50 million Institute". MIT News, March 13, 2002. updated March 14, 2002. Online, available at: web.mit.edu/newsoffice/ nr/2002/isn.html (accessed 15 March 2002).

MMSG (2000) "Molecular Manufacturing Shortcut Group – Promote the Development of Nanotechnology as a Means to Facilitate the Settlement of Space". Online, available at: www.islandone.org/MMSG (accessed 26 Sept. 2003).

Mnvusiwalla A.. Daar A.S. and Singer P.A. (2003) «"Mind the Gap»: Science and Ethics in Nanotechnology». Nanotechnology 14 (3): R9-R13.

Montemagno CD. (2001) «Nanomachines: A Roadmap for Realizing the Vision'. Journal of Nanoparticle Research 3(1): 1-3.

Moravec H. (1988) Mind Children – The Future of Robot and Human Intelligence. Cambridge MA/London: Harvard University Press.

Moriartv P. (2001) "Nanostructured Materials". Reports on Progress in Physics 64. 297-381.

Morton J.S. (1998) "The Legal Status of Laser Weapons that Blind», Journal of Peace Research 35 (6): 697-705.

Vloteff J.D. (1999) Defense Research: A Primer on the Department of Defense's Research, Development, Test and Evaluation IRDT&E) Program. CRS Report 97-316. Online, available at: www.NCSEonline.org/nle/crsreports/science/st-63.emf (accessed 27 Nov. 2002).

MRI (2003) "Materials Research Institute". Online, available at: www.cms.llnl. gov/MRI (accessed 22 April 2003).

Mullins W.M. (2002) "Institute for Soldier Nanotechnologies", viewgraphs presented at Defence Nanotechnology 2002, 31 Oct.-1 Nov., London: Defence Event Management.

Murdav J.S. (1999) "Science and Technology of Nanostructures in the Department of Defense". Journal of' Nano particle Research 1 (4): 501-505.

Nalwa H.S. (1999) Handbook of Nanostructured Materials and Nanotechnology (5 volumes). San Diego etc.: Academic Press.

NASA (2002) "Space Settlement Basics". Online, available at: www.nas.nasa.gov/ About/ Education/SpaceSettlement/ Basics/wwwwh.html (accessed 11 Nov. 2003).
(2002a) "Novel Data Storage System", Center for Nanotechnology. NASA Ames Research Center. Online, available at: www.ipt.arc.nasa.gov/datastorage. html (accessed (16 Sept. 2002).

Natick (1998) "Up and Atom – Great Things Come in Small Packages". Online, available at: www.natick.army.mil /warrior/98/nano.htm (accessed 10 Sept. 2002).

Nelson M. and Shipbaugh C. (1995) The Potential of Nanotechnology for Molecular Manufacturing. MR-615-RC. Santa Monica CA: RAND.

Netfirms (2001) "Executive Summary". Online, available at: www.nanoisrael.net-rirms.com/executive_summary.htm (accessed 26 Sept. 2003).

Neuneck G. and Moiling C. (2001) «Methoden. Kriterien und Konzepte fiir Preventive Rustungskontrolle», Wissenschaft und Frieden. Dossier Nr. 38.

Neuneck G. and Mutz R. (2000) Vorbeugende Rustungskontrolle. Ziele und Aufgaben unter besonderer Beriicksichtigung verfahrensmafliger und institutioneller Umsetzung im Rahrnen internationaler Regime. Baden-Baden: Nomos.

Nicolelis M.A.L. (2001) «Actions from Thoughts'. Nature 409 (6818): 403-407.

Nicoleiis M.A.L. and Chapin J.K. (2002) «Controlling Robots with the Mind», Scientific American 287 (4): 24-31.

Nixdorff K. (2003) «Statement on Biosecurity of the INES Working Group'. INESAP Bulletin no. 22: 39 (December). Online, available at: www.inesap. org/bulletin22/ bul22artl4.htm (accessed 13 Feb. 2004).

Nixdorff K.. Hotz M.. Schilling D. and Dando M. (2003) Biotechnology and the Biological Weapons Convention, Miinster: agenda.

NNI (2000) National Nanotechnology Initiative: The Initiative and its Implementation Plan. Washington DC: National Science and Technology Council. Online, available at: nano.gov/nni2.pdf (accessed 17 July 2002).
(2002) National Nanotechnology Initiative: The Initiative and its Implementation Plan. Washington DC: National Science and Technology Council. Online, available at: nano.gov/nni03_aug02.pdf (accessed 10 Sept. 2002).
(2003) National Nanotechnology Initiative – Research and Development

Supporting the Next Industrial Revolution – Supplement to the President's FY 2004 Budget. Washington DC: National Science and Technology Council. Online, available at: nano.gov/nni04_budget_supplement.pdf (accessed 17 Nov. 2003).

NNI Committee (2002) Committee for the Review of the National Nanotechnology Initiative, Small Wonders, Endless Frontiers ~ A Review of the National Nanotechnology Initiative. Washington DC: National Academy Press.

NRC Committee (2002) Committee on Implications of Emerging Micro- and Nanotechnologies. Air Force Science and Technology Board, National Research Council, Implications of Emerging Micro- and Nanotechnologies, Washington DC: National Academies Press.

NRL Nanoscience (2003) "Nanoscience Institute". Online, available at: nrl.navy. mil/content.php'.'P = MULTIDISCIPLINE (accessed 14 April 2003).
(2003a) Institute for Nanoscience, "Current Topics in the Nanoscience Task Area». Online, available at: nanoscience.nrl.navy.mil/programs.html (accessed 14 April 2003).

NRL NT Funding (2002) "Nanoscience and Nanotechnology – DOD Funding Agencies". Online, available at: nanosra.nrl.navy.mil/funding.html (accessed 28 April 2003).

NRL NT Labs (2002) "Nanoscience and Nanotechnology – DOD Laboratories". Online, available at: nanosra.nrl.navy.mil/laboratories.html (accessed 28 April 2003).

NSET (2000) «Nanotechnology Definition (NSET, February 2000)». Online, available at: nano.gov/omb_nifty50.htm (accessed 13 Dec. 2002).

NSS (1995) «NSS Position Paper on Space and Molecular Nanotechnology'. National Space Society. Online, available at: www.islandone.org/MMSG/NSS-NanoPosition.html (accessed 16 Oct. 2001).

Olds J. (1958) «Self-Stimulation of the Brain». Science 127 (3294): 315-324.

OTA (1991) U.S. Congress. Office of Technology Assessment. Miniaturization Technologies, OTA-TCT-514. Washington DC: U.S. Government Printing Office.

Parker A. (2000) «New Day Dawns in Supercomputing». Science & Technology Review (June). 4-14.
(2000a) "Nanoscale Chemistry Yields Better Explosives". Science & Technology Review (October). 19-22.

Paschen H.. Coenen C. Fleischer T., Griinwald R.. Oertal D. and Revermann C. (2003) TA-Projekt Nanotechnologie – Endbericht. TAB Arbeitsbericht Nr. 92. Berlin: Biiro fiir Technikfolgen-Abschatzung beim Deutschen Bundestag. Juli 2003.

Peres S. (2003) «Nanotechnology holds a Key to Israel's Future». Jerusalem Post (6 March 2003). Online, available at: www.smalltimes.com/document_ displav.cfm?document_id = 5613 (accessed 26 Sept. 2003).

Petermann T.. Socher M. and Wennrich C. (1997) Priiventive Rustungskontrolle bei Neuen Technologien – Utopie oder Notwendigkeit?, Berlin: edition sigma.

Petersen J.L. and Egan D.M. (2002) «Small Security: Nanotechnology and Future Defense». Defense Horizons, no. 8. Online, available at: www.ndu.edu/inss/ DefHor/ DH8/DH08.pdf (accessed 13 Dec. 2002).

Petro J.B.. Plasse T.E. and McNulty J.A. (2003) "Biotechnology: Impact on Biological Warfare and Biodefense", Biosecurity and Bioterrorism: Biodefense Strategy, Practice and Science 1 (3): 161-168.

Phoenix C. (2003) «Design of a Primitive Nanofactory'. Journal of Evolution and Technology 13 (2). Online, available at: www.jetpress.org/volume13/Nano factory.htm (accessed 7 Nov. 2003).

Pillsbury M. (ed.) (1998) Chinese Views of Future Warfare, rev. edn. Washington DC: National Defense University Press. Online, available at: www.ndu.edu/inss/books/ books%20_%201998/Chinese%20Views%20of%20Future% 20Warfare% 20-Sept%2098/chinacont.html (accessed 27 Oct. 2003).

(2000) China Debates the Future Security Environment. Washington DC: National Defense University Press. Online, available at: www.ndu.edu/inss/ books/pills2.htm (accessed 31 Oct. 2000).

Pomrenke G. (2002) «US National Nanotechnology Initiative & the DoD', view-graphs presented at Defence Nanotechnology 2002. 31 Oct.-1 Nov., London: Defence Event Management. QinetiQ (2003) QinetiQ Nanomaterials – Ignitors'. Online, available at: www. nano.qinetiq.com/03_applications_ knowledge/showcase.asp (accessed 18 Nov. 2003).

Reed M.A. and Tour J.M. (2000) "Computing with Molecules", Scientific American 282 (6): 69-75.

Rees M. (2003) Our Final Hour, New York: Basic.

Reifman E.M. (1996) • Diamond Teeth', in B.C. Crandall (ed.), Nanotechnology - Molecular Speculation on Global Abundance, 3rd printing, Cambridge MA/London: MIT Press.

Reip P. (2002) Nanomaterials in Defence», viewgraphs presented at Defence Nanotechnology 2002.31 Oct.-1 Nov., London: Defence Event Management.

Rennie G. (2003) "Predicting Stability for the High-Energy Buckyball", Science & Technology Review (December), 20-21.

Reynolds G.H. (2002) Forward to the Future: Nanotechnology and Regulatory Policy. San Francisco CA: Pacific Research Institute (November 2002). Online, available at: www.pacificresearch.org/pub/sab/techno/forward_to_ nanotech.pdf (accessed 24 Jan. 2003).

Rissanen J. (2002) «Left in Limbo: Review Conference Suspended On Edge of Collapse'. Disarmament Diplomacy, no. 62 (January-February). Online, available at: www.acronym.org.uk/dd/dd62/62bwc.htm (accessed 24 Sept. 2002).

Robotics (1997) Robotics Workshop 2020. US Army Research Laboratory. Jet Propulsion Laboratory. Pasadena CA. 25-27 February 1997. McLean VA: Science Applications International.

Roco M.C. (1999) "Research Programs on Nanotechnology in the World", in R.W. Sie_el. E. Hu and M.C. Roco (eds) Nanostructure Science and Technology – A Worldwide Study. Baltimore MD: WTEC. Loyola College. Also: Boston etc.: Kluwer. Online, available at: www.wtec.org/loyola/pdf/nano.pdf (accessed 25 April 2003).

(2001) international Strategy for Nanotechnology Research and Development'. Journal of Nanoparticle Research 3 (5-6): 353-360.

(2002) "National Nanotechnology Investment in the FY 2003 Budget Request by the President". Online, available at: nano.gov/2003budget.html (accessed 10 Sept. 2002).

(2002a) «National Nanotechnology Initative and a Global Perspective', paper presented at "Small Wonders" NSF Symposium, March 19, 2002. Online, available at: www.nsf.gov/home/crssprgm/nano/smwonder_slide.pdf (accessed 17 Sept. 2002).

(2003) "Government Nanotechnology Funding: An International Outlook». NSF. Online, available at: www.nano.gov/intpersp_rocojune30.htm (accessed 28 Oct. 2003).

(2003a) «Broader Societal Issues of Nanotechnology', Journal of Nanoparticle Research 5 (3-1): 181-189.

Roco M.C. and Bainbridge W.S. (eds) (2001) Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology (NSF Report), Boston etc.: Kluwer. Online, available at: www.wtec.org/loyola/nano/societalimpact/nanosi.pdf (accessed 22 Sept. 2003).

(2003) Converging Technologies for Improving Human Performance – Nanotechnology, Biotechnology. Information Technology and Cognitive Science. Boston etc.: Kluwer. Online, available at: www.wtec.org/ConvergingTechnologies/ NBIC_report.pdf (accessed 29 Oct. 2003).

Roco M.C. and Tomellini R. (eds) (2002) Nanotechnology – Revolutionary Opportunities and Societal Implications. Luxembourg: European Communities. Parts online, available at: www.cordis.lu/nanotechnology/src/publication.htm (accessed 30 Aug. 2002).

Roman C (2002) It's Ours to Lose – An Analysis of EU Nanotechnology Funding and the Sixth Framework Programme, Brussels: European Nanobusiness Association. Online, available at: www.nanoeurope.org/docs/European%20Nano tech%20Funding.pdf (accessed 10 Nov. 2003).

Rossetto O.. Rigoni M. and Montecucco C. (2004) «Different Mechanism of Blockade of Neuroexocytosis by Presynaptic Neurotoxins'. Toxicology Letters 149 (1-3): 91-101.

Royal (2003) Royal Society, «Nanotechnology – Request for Initial Views on this New Study'. Online, available at: www.royalsoc.ac.uk/nanotechnology/intro.htm (accessed 14 July 2003).

Rudd CD. and Shaw R.W. (eds) (2001) «Nanostructures in Polymer Matrices». Report on a Workshop, University of Nottingham. 10-13 Sept. 2001, London: US Army European Research Office. Online, available at: www.nano.gov/ ch4_f01_polymers_workshop.doc (accessed 27 Jan. 2003).

Rudolph A. (2001) "The Brain-Machine Interface». Online, available at: www.darpa.mil/ dso/thrust/sp/presentaiions; BioMagnetics_Rudolph.pdf (accessed 16 Jan. 2003).

Russell S.J. and Norvig P. (2003) Artificial Intelligence – A Modern Approach. 2nd edn. Upper Saddle River NJ: Pearson Education.

Russia (2000) "National Security Concept of the Russian Federation", translation from Rossiiskaya Gazeta, January 18, 2000. Online, available at: www.fas. org/nuke/guide/ russia/doctrine/gazeta012400.htm (accessed 5 April 2004).

(2000a) «Military Doctrine of the Russian Federation'. Presidential Decree of April 21. 2000. Online, available at: www.dcaf.ch/publications/e-publications/ RusJegal_acts/04_Military_doctnne.pdf (accessed 5 April 2004).

Salvetat-Delmotte J.-P. and Rubio A. (2002) «Mechanical Properties of Carbon Nanotubes: a Fiber Digest for Beginners'. Carbon 40 (10): 1729-1734.

Savage S.J. (2002) «Evolution of a Swedish Defence Nanotechnology Programme', viewgraphs presented at Defence Nanotechnology 2002, 31 Oct.-1 Nov.. London: Defence Event Management.

Scheffran J. (1985) Riistungskontrolle im Weltraum – Risiken unci Verifikationsmoglichkeiten bei Anti-Satelliten-Waffen, Schriftenreihe des Arbeitskreises Marburger Wissenschaftler fiir Friedens- und Abriistungsforschung Nr. 1. Marburg, Fachbereich Physik der Philipps-Universitat (shortened: HSFK-Report 6/1986, Frankfurt/M.: Hessische Stiftung Friedens- und Konfliktforschung).

(1986) «Verification and Risk for an Antisatellite Weapons Ban». Bulletin of Peace Proposals 17 (2): 165-174.

Schneiker C. (1989) «NanoTechnology With Feynman Machines: Scanning Tunneling Engineering and Artificial Life', in C.G. Langton (ed.) Artificial Life, Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity vol. VI. Reading MA etc.: Addison-Wesley.

Scientific (2001) Nanotech – The Science of the Small Gets Down to Business. Special Issue. Scientific American 285 (3) (German: Nanotechnologie. Spektrum der Wissenschaft Spezial 2/2001).

Service R.F. (2003) «Next-Generation Technology Hits an Early Midlife Crisis'. Science 302 (5645): 556-559.

Shaw R.W. (2002) European Nanomaterials Research and the Army, 23rd Army Science Conference, Dec. 2-5. 2002. Orlando FL. Online, available at: www.asc2002.com/summaries/I/LP- 12.pdf (accessed 22 April 2003).

SIA (2001) Semiconductor Industry Association. The International Technology Roadmap for Semiconductors. 2001 Edition. Executive Summary, Austin TX: International SEMATECH. Online, available at: public.itrs.net/Files/2001ITRS/ ExecSum.pdf (accessed 14 April 2003).

Siegel R.W.. Hu E. and Roco M.C. (1999) Nanostructure Science and Technology -A Worldwide Study. Baltimore MD: WTEC. Loyola College. Also: Boston etc.: Kluwer. Online, available at: www.wtec.org,ioyola/pdf/nano.pdf (accessed 25 April 2003).

Singer C.E. and Sands A. (2002) Keys to Unblocking Multilateral Nuclear Arms Control. ACDIS Occasional Paper SIN: 2. Urbana-Champaign IL: University of Illinois. Online, available at: www.acdis.uiuc.edu/homepage_docs/pubs_docs/ PDF_Files/SingerSandsOPjul()2.pdf (accessed 21 Nov. 2002).

Smalley R.E. (2001) "Of Chemistry. Love and Nanobots". Scientific American 285 (3): 76-77.

Smith H.O.. Hutchison C.A. III.. Pfannkoch C. and Venter J.C. (2003) «Generating a Svnthetic Genome by Whole Genome Assembly: d)X174 Bacteriophage from Synthetic Oligonucleotides'. Proceedings of the National Academy of Sciences USA 100(26): 15440-15445. Smith R.H. (2001) «Social. Ethical, and Legal Implications of Nanotechnology'. in M.C. Roco and W.S. Bainbridge (eds) Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology (NSF Report). Boston etc.: Kluwer. Online, available at: www.wtec.org/loyola/nano/societalimpact/nanosi.pdf (accessed 22 Sept. 2003).

Smith II R.H. (1998) A Policy Framework for Developing a National Nanotechnology Program. MSc thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University. Online, available at: www.altfutures_afa.com/nanotech/smithlinks/thesis.pdf (accessed 24 Jan. 2003).

SNL (2003) «Nanoscience & Nanotechnology at Sandia National Laboratories'. Online, available at: nano.sandia.gov (accessed 27 Jan. 2003).

Snow E. (2003) «Nanoelectronics Overview». Online, available at: nanoscience.nrl.navy.mil/rlles/NanoOverview.zip... .ppt (accessed 15 April 2003).

Solem J.C. (1994) «The Motility of Microrobots'. in C.G. Langton (ed.) Artificial Life III – Proceedings of the Workshop on Artificial Life held June 1992 in Santa Fe, New Mexico. Reading MA etc.: Addison-Wesley.

Soong R.K.. Bachand G.D.. Neves H.P., Olkhovets A.G.. Craighead H.G. and Montemagno CD. (2000) «Powering an Inorganic Nanodevice with a Biomolecular Motor». Science 290 (5496): 1555-1558.

SSHP (2001) «Small Satellites Home Page'. Online, available at: www.ee.surrey. ac.uk/SSC/SSHP (accessed 29 June 20o1).

Steinbruner J. and Lewis J. (2002) «The Unsettled Legacy of the Cold War', Dcedalus 131 (4): 5-10.

Steinbruner J.D. and Harris E.D. (2003) "Controlling Dangerous Pathogens", Issues in Science and Technology 19 (3): 47-54.

Suchman M.C. (2001) «Envisioning Life on the Nanc-Frontier', in M.C. Roco and W.S. Bainbridge (eds) Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology (NSF Report), Boston etc.: Kluwer. Online, available at: www.wtec.org/lovola/ nano/societalimpact/nanosi.pdf (accessed 22 Sept. 2003).

Sun B. (1996/1998) «Nanotechnology Weapons on Future Battlefields', pp. 413-420 in VI. Pillsbury (ed.) Chinese Views of Future Warfare, rev. edn. Washington DC: National Defense University Press. Online, available at: www.ndu.edu/inss/ books/books%20_%201998/Chinese%20Views%20of%20Future% 20Warfare% 20-Sept%2098/chmapt4.html (accessed 27 Oct. 2003).

Sunshine (2002) Non-Lethal Weapons Research in the US: Genetically Engineered Anti-Material Weapons. Backgrounder Series #9. Sunshine Project, March 2002. Online, available at: www.sunshine-project.org/publications/bk/bk9en.html (accessed 5 April 2004).

(2002a) US Special Forces Seek Genetically Engineered Bioweapon», News Release, Sunshine Project. 12 Aug. 2002. Online, available at: www.sunshine-project, org/publications/pr/pr 120802.html (accessed 5 April 2004).

(2003) Biosafety. Biosecurity, and Bioweapons – Three Agreements on Biotechnology, Health, and the Environment, and Their Potential Contribution to Biological Weapons Control. Background Paper #11, The Sunshine Project (October 2003). Online, available at: www.sunshine-project.org/publications/ bk/bkl1.html (accessed 27 Oct. 2003).

(2004) The Return of the ARCAD'. News Release, Sunshine Project. Online, available at: www.sunshine-project.org/publications/pr/pr060104.html (accessed 9 Feb. 2004).

(2004a) «Milzbrand- und Mehrfachimpfungen von SoldatInnen zunehmend unter Beschuss'. Biowaffen-Telegramm Nr. 24. Sunshine-Project (16 Jan. 2004).

Talbot D. (2002) «Supersoldiers'. Technology Review (October): 44-51.

Talwar S.K.. Xu S., Hawley E.S.. Weiss S.A.. Moxon K.A. and Chapin J.K. (2002) «Rat Navigation by Remote Control'. Nature 417 (6884): 37-38.

Taniguchi N. (ed.) (1996) Nanotechnology – Integrated Processing Systems for Ultra-precision and Ultra-fine Products. Oxford etc.: Oxford University Press.

Tenner E. (2001) «Nanotechnology and Unintended Consequences', in M.C. Roco and W.S. Bainbridge (eds) Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology (NSF Report), Boston etc.: Kluwer. Online, available at: www.wtec.org/ loyola/nano/ societalimpact/nanosi.pdf (accessed 22 Sept. 2003).

Timbrell J.A. (1989) Introduction to Toxicology. London etc.: Taylor & Francis.

Timp G. (ed.) (1999) Nanotechnology. New York: AIP/Springer.

Timp G., Howard R.E. and Mankiewich P.M. (1999) «Nano-electronics for Advanced Computation and Communication', in G. Timp (ed.) Nanotechnology. New York: AIP/Springer.

Tolles W.M. (2001) "National Security Aspects of Nanotechnology", in M.C. Roco and W.S. Bainbridge (eds) Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology (NSF Report), Boston etc.: Kluver. Online, available at: www.wtec.org/loyola/nano/ societalimpact/nanosi.pdf (accessed 22 Sept. 2003).

Tucker J.B. (2003) "Preventing the Misuse of Pathogens: The Need for Global Biosecurity Standards", Arms Control Today 3?> (5): 3-10.

Tyler P.E. (1992) "U.S. Strategy Plan Calls For Insuring No Rivals Develop". New York Times. 8 March 1992.

UCR (2002) University of California. Riverside, News Release, "New center for nanoscale innovation transfers knowledge from universities to industry" (Dec. 10. 2002). Online, available at: www.newsroom.ucr.edu/cgi-bin/display.cgi?id=305 (accessed 3 Feb. 2003).

UK MoD (2001) The Future Strategic Context for Defence. London: Ministry of Defence. Online, available at: www.mod.uk/index.php3?page=2449 (accessed 13 Feb. 2001).

(2001a) Nanotechnology: Its Impact on Defence and the MoD. Nov. 200 L. Online, available at: www.mod.uk/linked_tiles/nanotech.pdf, see also http:// www.mod.uk/ issues/nanotech/contents.htm (accessed 18 Nov. 2003). Ullmanns (1982) Ullmanns Encyklopiidie der technischen Chemie (4th edn), Weinheim etc.: Verlag Chemie (vol. 21. Chapter "Sprengstoffe").

Vettiger P., Cross G., Despont M., Drechsler U., Durig U., Gotsmann B., Haberle W.~ Lantz M.A., Rothuizen H.E., Stutz R. and Binnig G.K. (2002) The «Millipede» – Nanotechnology Entering Data Storage'. IEEE Transactions on Nanotechnology I (1): 39-55.

Vinge V. (1993) «The Singularity', paper originally presented at VISION-21 Symposium. March 30-31. 1993, slightly changed in Whole Earth Review. Winter 1993. Online, available at: www.ugs.caltech.edu/~phoenix/vinge/vinge-sing.html (accessed 28 April 2003).

Vogel V. (2001) "Societal Impacts of Nanotechnology in Education and Medicine", in M.C. Roco and W.S. Bainbridge (eds) Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology (NSF Report), Boston etc.: Kluwer. Online, available at: www.wtec.orn/lovola/nano/societalimpact/nanosi.pdf (accessed 22 Sept. 2003).

Wang J. and Dortmans P.J. (2004) A Review of Selected Nanotechnology Topics and Their Potential Military Applications. DSTO-TN-0537. Edinburgh South Australia: Systems Sciences Laboratory. Defence Science and Technology Organisation (Jan.). Online, available at: www.dsto.defence.gov.au/corporate/ reports/DSTO-TN-0537.pdf (accessed 30 April 2004).

Weil V. (2001) "Ethical Issues in Nanotechnology". in M.C. Roco and W.S. Bainbridge (eds) Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology (NSF Report). Boston etc.: Kluwer. Online, available at: www.wtec.org/loyola/nano/ societalimpact/ nanosi.pdf (accessed 22 Sept. 2003).

Wessberg J., Stambaugh C.R., Kralik J.D., Beck P.D., Laubach M., Chapin J.K., Kim J.»». Biggs S.J., Srinivasan M.A. and Nicolelis M.A.L. (2000) "Real-time Prediction of Hand Trajectory by Ensembles of Cortical Neurons in Primates". Nature 408 (6810): 361-365.

Wheelis M. (2003) ««Nonlethal» Chemical Weapons: A Faustian Bargain', Issues in Science and Technology online 19 (3). Online, available at: www.issues. org/19.3/ 'wheelis.htm (accessed 30 April 2004).

Whitesides G.M. (2001) "The Once and Future Nanomachine". Scientific American 285 (3): 78-83.

Whitesides G.M. and Love J.C. (2001) "Implications of Nanoscience for Knowledge and Understanding", in M.C. Roco and W.S. Bainbridge (eds) Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology (NSF Report), Boston etc.: Kluwer. Online, available at: wvvw.wtec.org/loyola/nano/societalimpact/nanosi.pdf (accessed 22 Sept. 2003).

Williams R.S. (2002) "How can the Intersection of Nano and Information Technologies Change the Society?" in M.C. Roco and R. Tomellini (eds) Nanotechnology – Revolutionary Opportunities and Societal Implications. Luxembourg: European Communities. Parts online, available at: www.cordis.lu/nanotechnol-ogy/src/ publication.htm (accessed 30 Aug. 2002).

Williams R.S. and Kuekes P.J. (2001) "We"ve only just Begun', in M.C. Roco and W.S. Bainbridge (eds) Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology (NSF Report). Boston etc.: Kluwer. Online, available at: vvww.wtec.org/loyola/ nano/ societalimpact/nanosi.pdf (accessed 22 Sept. 2003).

Wilson T. (200L) "Threats to United States Space Capabilities". Prepared for the Commission to Assess United States National Security Space Management and Organization (Appendix to Report of Jan. 11, 2001). Online, available at: www.space.gov/commission/support-docs/article05.pdf (accessed 22 Jan. 2002).

Yonas G. and Picraux ST. (2001) "National Needs Drivers for Nanotechnologv». in M.C. Roco and W.S. Bainbridge (eds) Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology (NSF Report). Boston etc.: Kluwer. Online, available at: www.wtec.org/loyola/nano/societalimpact/nanosi.pdf (accessed 22 Sept. 2003).

Zimmerman P.D. and Dorn D.W. (2002) "Computer Simulation and the Comprehensive Test Ban Treaty». Defense Horizons, no. 17. Online, available at: www.ndu.edu/inss/ DefHor/DH17/DH17.pdf (accessed 13 Dec. 2002).

Zyvex (2003) "About Us ... Background". Online, available at: www.zvvex.com/ AboutUsbackground.html (accessed 4 Now 2003).

(2003a) "Products...". Online, available at: www.zyvex.com/Products/home.html (accessed 4 Nov. 2003).

ПРИМЕЧАНИЯ

ГЛАВА 1. ВВЕДЕНИЕ

1. NNI, 2002: 11.
2. Краткие упоминания о военных приложениях НТ содержатся в работах [Altmann and Gubrud, 2002] и [Altmann, 2004].
3. Институт прогнозов был основан в 1986 году К. Эриком Дрекслером, Кристиной Патерсон и Джеймсом Беннеттом [Foresight, 2003a].
4. Термин «нанотехнология», используемый Дрекслером вместо понятий «молекулярное конструирование» или даже «молекулярная инженерия», был введен Н. Танигути (Япония) еще в 1974 году, но Танигути придавал ему несколько иное значение [Franks, 1987].
5. Краткая история раннего периода развития нанотехнологии (до середины 80-х годов) и достаточно полное описание связанных с нанотехнологией исследований в более позднее время излагается в работах [Franks, 1987; Schneiker ,1989; Crandall, 1996a; Smith II: Appendix A; Scientific, 2001: 36; Drexler, 1992: App.B].
6. Группа ETC (Erosion, Technology, Concentration), ранее обозначавшаяся аббревиатурой RAFI, представляет собой международную гражданскую организацию, базирующуюся в Канаде.
7. Обсуждение доклада Парламентом ФРГ происходило в ноябре 2003 года.
8. Во втором издании книги в 1990 году [Drexler, 1986/1990: 241] Дрекслер отметил в предисловии сложность создании репликаторов, способных к выживанию в естественных условиях (см. также [Merkle, 1992]). Позднее количественные расчеты показали [Freitas, 2000], что связанные с этой возможностью опасности действительно ограничены.
9. Летом 2000 года одна из ведущих газет Германии *Frankfurter Allgemeine Zeitung* напечатала статью самого Джоя и ряд других материалов по этой теме.
10. Семинар проводился в рамках программы создания Института армейской нанотехнологии (см. раздел 3.1.6).
11. Этот быстрый процесс получил название «двухнедельной технической революции», но позднее аналитики пришли к выводу, что такой вариант развития событий является маловероятным (см. примечание 15 к главе 2).
12. Сценарий 0 подразумевает медленный рост предлагаемой технологии; сценарий 1 – быстрое развитие ассемблеров с последующей общей гибелью под воздействием «боевых» репликаторов; 2 – запрет на развитие молекулярных НТ, вызванный решительными действиями защитников окружающей среды и пацифистов, после чего начинается процесс глобальной «деструкции» из-за невозможности контролировать опасные виды оружия; 3 – нации, способные развивать молекулярные НТ, включаются в стремительную и разностороннюю гонку вооружений; 4 – развитие молекулярных НТ осуществляется главным образом в рамках международного сотрудничества индустриально развитых и демократических государств. Стоит отметить, что в некоторых сценариях возможности развития ситуации доведены до абсурда.
13. Короткая статья на эту тему была ранее опубликована Габрадом [Gubrud, 1989].
14. Институт прогнозов имеет веб-сайт http://www.foresight.org.
15. «Пугает сама идея возможности создания систем убийства, которые не контролируются человеком в процессе принятия решений. В этом плане представляется весьма странным и спорным предложение о разработке каких-то правил ведения войны с участием роботов и автоматических устройств».
16. Общие соображения по этому поводу содержатся в материалах Центра выработки объединенных доктрин и концепций [JDCC, 2003].
17. Дискуссия велась в основном относительно реально осуществляемых военных программ НИОКР, многие из которых описаны в книге (раздел 3.1).
18. В статье недостаточно четко различаются собственно нанотехнологии и микросистемные технологии, которые до этого десятилетиями разрабатывались для атомных артиллерийских снарядов, микрозарядов особо мощных взрывчатых веществ, а также микроэлектромагнитных систем.
19. Например, установки такого типа, работающие в Ливерморской национальной лаборатории имени Лоуренса, занимают площадь 200 × 85 м², где располагаются 192 мощные лазерные установки, излучение которых фокусируется на нанометрическом образце (из способного к термоядерному синтезу материала), находящегося в центре сферы диаметром около 10 м [Heller, 1998; Parker, 2000].

ГЛАВА 2. ОБЩИЙ ОБЗОР РАЗВИТИЯ НАНОТЕХНОЛОГИИ

1. В качестве общих обзоров по нанотехнологии можно рекомендовать работы [Taniguchi, 1996; Timp, 1999; Gross, 1999; Scientific, 2001; Goddard III et al., 2002; Bhushan, 2004].
2. В определениях Национальной нанотехнологической инициативы США нижней границей области НТ обычно считается просто размер 1 нм [NNI, 2000: 19; NNI, 2002: 11].
3. Сведения о новейших тенденциях в определении понятия нанотехнологии читатель может найти в работах [IWGN, 1999: vii: NSET, 2002; NNI, 2000: 19f; NNI, 2002: 11].
4. В Англии термин MST часто используется и для обозначения микроэлектромеханических систем (MEMS), область применения которых значительно уже. С другой стороны, иногда для обозначения всех технологий на нанометрическом уровне используется аббревиатура NEMS.

5. В физике твердого тела уже утвердилось определение «мезоскопический», относящееся к объектам размером около 30 нм, когда начинают отчетливо проявляться различные квантово-механические явления, связанные с так называемым квантовым удерживанием и когерентностью.
6. Сведения относительно общих приложений НТ, включая изготовление более мелких систем, содержатся, например, в работе [MacDonald, 1999]. Проект «Milliped», относящийся к записи и считыванию информации нагреваемыми зондами, включенными в полимерные пленки, описан в работах [Vettiger et al., 2002; IBM, 2002].
7. Брошюра была издана до утверждения Национальной нанотехнологической инициативы (ННИ), однако она входит в список материалов, публикуемых в связи с этой инициативой.
8. В качестве некоторого общего стандарта изделий, характерных для электронной промышленности, используется так называемая ширина полушага в динамических устройствах оперативной памяти (DRAM), равная половине расстояния между параллельными (металлическими и кремниевыми) соединительными структурами. В упомянутом Путеводителе используются и другие усредненные характеристики электронных устройств [SIA, 2001; ITRS, 2002].
9. Квантовыми точками называют наноразмерные структуры, содержащие единичный электрический заряд. Приближенно можно считать, что такие состояния (подобно электронам в проводниках) могут находиться в энергетических состояниях с разной энергией, а переходы между состояниями или уровнями могут осуществляться за счет поглощения или излучения световых квантов.
10. Баллистической модой называют механизм движения потока электронов, происходящий без рассеяния на примесях.
11. Разумеется, во многих областях нанонауки и нанотехнологии исследования ведутся с участием и на уровне отдельных молекул, так что более точным обозначением для предлагаемых фантастических методов стало бы «использование ассемблеров в нанотехнологии». С другой стороны, термин «молекулярная нанотехнология» уже стал достаточно распространенным, вследствие чего он часто и используется без особых уточнений.
12. Очень полный обзор работ по истории нанотехнологии за обширный период от 50-х годов до конца 80-х содержится в работе [Schneiker ,1989]. Интересно, что при обсуждении работ Дрекслера 1981 и 1986 годов (464 с. цитируемой книги) Шнейкер вдруг отмечает, что «в этих публикациях (Дрекслера) отсутствуют ссылки на истинных, т.е. оригинальных, авторов обсуждаемых и предлагаемых идей».
13. Такие устройства, как указывает Шнейкер (1989), позднее получили название машин Фейнмана. Реальная возможность непосредственной манипуляции отдельными атомами и молекулами появилась лишь после изобретения туннельных и атомно-силовых микроскопов.
14. Программа может содержаться непосредственно в ассемблере (например, в виде линейной молекулы, похожей на классическую ДНК), в результате чего

система станет «самоописывающейся» и получит потенциальную способность развиваться неконтролируемым путем.
15. Кохлер [Kaehler, 1996] относит зарождение этой идеи к 1980 году.
16. В. Винге считает, что благодаря росту вычислительной мощности и усилению программного обеспечения интеллект компьютеров достигнет уровня человека и даже превзойдет его в период между 2005 и 2030 годами, вследствие чего будет достигнута «сингулярность», последствия которой невозможно предсказать [Vinge, 1993; Hanson, 1998].
17. «Трансгуманисты... должны объединиться повсюду и разорвать цепи, сковывающие развитие науки» [Bainbridge, 2003].
18. В книге Курцвейля [Kurzweil, 1999] в далеком будущем (2099 год) некое вымышленное существо «Молли» утверждает, что якобы «Дрекслер написал серию статей, доказывающих возможность создания технологии на фемтометровом уровне с использованием внутриквартковых структур для вычислительных процессов». По мнению автора, это должно существенно повысить эффективность новых, объединенных кибернетических систем (244 с.), но в действительности такие положения прямо противоречат предсказаниям Дрекслера (1986). Курцвейль сделал эти голословные утверждения на основе собственных идей и собственной экстраполяции закона Мура (см. 342 с.), в соответствие с которыми уже к 2072 году должна возникнуть «пикоинженерия», а в 2112 году – даже «фемтотехнология».
19. Аналогичные аргументы использовал Дрекслер, обсуждая возможности использования звездных коллапсов [Drexler, 1986: Ср.10]. Стоит вспомнить также предлагавшиеся Моравеком [Moravec, 1988: 74] фантастические планы, связанные со сверхплотными состояниями некоторых космических объектов (нейтронных звезд и так называемых белых карликов). Для физиков-теоретиков могут быть интересны расчеты предполагаемых предельных значений разогрева и конденсации вещества в очень крупных объектах, включая Вселенную в целом [Lloid, 2000, 2002].
20. Отчет, составленный Нельсоном и Шипбаухом [Nelson and Shipbauch, 1995] по запросу известной организации «RAND Corporation» и посвященный «тщательной и развернутой оценке состояния исследований в области молекулярных нанотехнологий и перспективам их развития», остался незавершенным. В опубликованных материалах указаны лишь некоторые промежуточные результаты и ключевые моменты, достижение которых позволит более реально оценить возможности новых методов и технологий.
21. Некоторые из этих статей были опубликованы в научном журнале *Nanotechnology* в виде отчетов конференций по молекулярным нанотехнологиям, проводимых Институтом прогнозов [Mekle, 1997, 1999, 2000; Hall J.S., 1999]. Проблемы развития медицинских нанороботов рассматриваются в работе [Haberzettl, 2002].
22. У автора данной книги такое же ощущение возникло после нескольких дискуссий со специалистами в области нанотехнологии.

23. Сведения о лауреатах приза Фейнмана содержатся в публикации [Foresight, 2003]. Список победителей за последние годы выглядит следующим образом (экспериментальные работы/теория):
1999 год – P. Avouris (IBM) / W.A. Goddard III, T. Cagin, Y.Qui (Caltech);
2000 год – R.S. Williams (HP), P. Kuekes (HP), J. Heath (Univ. of California, Los Angeles) / U. Landman (Georgia Nech);
2001 год – C.M. Lieber (Harvard) / M.A. Ratner (Northwestern Univ.);
2002 год – C. Mirkin (Northwestern Univ.) / D. Brenner (North Carolina State Univ.).
24. Профессор отделения биотехнологии Корнеллского университета С. Монтенагно (C. Montenagno) использовал термин «наномашины». Его исследование под названием «Nanomachines: A roadmap for realizing the Vision» (Наномашины: Путеводитель осуществления предвидений) описывается в публикации [Soong et al., 2000].
25. Различные точки зрения на возможность существенного изменения возможностей человека излагаются в работах [Moravec, 1988; Kurzweil, 1999; Brooks, 2002]. Из работ специалистов в области вычислительной техники, всерьез рассматривающих возможность создания полноценного искусственного интеллекта, можно указать следующие [Williams and Kuekes, 2001; Williams, 2002]. Общие проблемы создания так называемого «сильного ИИ» или сверхчеловеческого искусственного интеллекта рассмотрены в работе [Russel and Norvig, 2003: Ch.26].
26. В течение нескольких лет на конференциях по молекулярным НТ в Институте прогнозов организаторы намеренно фокусировали внимание собравшихся на актуальных проблемах нанотехнологии, не развертывая серьезной дискуссии по вопросам создания или развития ассемблеров (см. http://www.foresight.org/Conferences). После принятия ННИ на сайте исчезла информация, связанная с так называемыми визионерскими (фантастическими и даже несколько мистическими) проектами. Однако в последнее время некоторые из них появились снова (см. раздел 2.3 и примечание 17).
27. NSET является подкомитетом Комитета США по технологиям при Национальном совете по науке и технологии и согласует свою деятельность с федеральными программами НИОКР по нанотехнологии, включая ННИ. Председателем подкомитета является М. Роко, а исполнительным секретарем – Джеймс Н. Мердэй из NRL [NNI, 2002: 2, 55].
28. Военная проблематика упомянута в разделе 1.5.10. Материалы по следующей конференции (февраль 2003 года) можно найти в работе [Infocastinc, 2003].
29. Шесть из одиннадцати финансирующих организаций имеют прямое отношение к военным разработкам (AFOSR, ONR, ARO, ARL, DAPRA, BMDO), а в число остальных входят NSF, DoC (включая NIST и Администрацию технологий), NIH и НАСА [Siegel et al., 1999: xvii.1).
30. Предыстории возникновения NNI посвящена публикация [Smith II, 1998].
31. «К чему может привести глобальная гонка в нанотехнологии?» [Harper, 2000].

32. Сказанное относится лишь к расходам Евросоюза, так что данные по Европе (табл. 2.7) включают в себя национальные расходы.

ГЛАВА 3. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОЕННЫХ РАЗРАБОТОК В ОБЛАСТИ НАНОТЕХНОЛОГИИ

1. В число стратегических направлений были включены биомиметика, нанонаука, «умные» материалы, широкополосные коммуникационные устройства, системы искусственного интеллекта и компактные источники энергии [Killion, 1997].
2. Бюджетные расходы Министерства обороны на эти цели составили 32 миллиона долл. (сумма по DAPRA, ARO, ONR, AFOSR), что уступает лишь расходам NSF (65 миллионов долл.). Из других федеральных министерств и агентств можно отметить Министерство энергетики (7 миллионов долл.), NIH (5 миллионов долл.), NIST (4 миллиона долл.), NASA (3 миллиона долл.).
3. Два элемента этой программы (BLACK LIGHT и развитие малого бизнеса) завершены в 2002 году и относящиеся к ним данные не включены в табл. 3.4.
4. Контракты по этой программе были заключены с двумя организациями ФРГ: Институтом систем искусственного интеллекта им. Фраунгофера (программы Scorpion и робот медицинского обслуживания) и Институтом зоологии в Бонне (изучение органов восприятия инфракрасного излучения у насекомых). Более подробные сведения можно найти в работе [DARPA CBS, 2003] и на приводимых в этой ссылке сайтах.
5. Данные об использовании изображений, полученных методом функционального магнитного резонанса, для повышения интеллектуальных возможностей человека при работе с компьютерными системами приводятся в работе [DARPA AugCog, 2003].
6. Это междисциплинарное научное учреждение по своей структуре значительно отличатся от Национальных лабораторий США. Новое здание для института было введено в строй в 2003 году [NRL Nanoscience, 2003].
7. Межотраслевая рабочая группа по нанонауке и нанотехнологии IWGN и Подкомитет NSET [NNI, 2000, 2002]. См. примечание 27 к главе 2.
8. Четыре другие национальные лаборатории (Оук-Ридж, Беркли, Брукхейвен, Аргонская) не занимаются непосредственно разработкой ядерного оружия.
9. Вторым направлением объявлено исследование поведения материалов в экстремальных состояниях [MRI, 2003; CMS, 2002: 36].
10. Спонсорами Конференции по армейским приложениям нанотехнологии и семинара (7–9 июля 1998 года) являлись известные организации Natick Research, Исследовательский центр армейских систем (Development and Engineering Center of Army Soldier Systems Command), Edgwood Research, Научно-исследовательский центр управления защитой от химического и биологического оружия, ARO, NSF и ARL [Natick, 1998].

11. В работе [Mullins, 2002] сообщается, что вклад промышленных организаций составил 15,3 миллиона долл., вклад MTI – 14,7 миллиона долл., а ассигнования Армии США будут выделяться по крайней мере в течение 10 лет.
12. Письмо от 30 января 2003 года (Bundesministerium der Verteidigung, RU IV).
13. По сведениям от членов INT (декабрь 2003 года), результаты исследования будут опубликованы.
14. См. сайт http://www.qinetiq.com. Фирма была основана совместно с Научно-исследовательской лабораторией Министерства обороны США (сайт http://dstl.gov.uk), после того как было расформировано бывшее Управление по проблемам оборонных технологий (DERA).
15. В рамках программ Совета по прикладным проблемам транспорта (AVT) организации RTO, входящей в структуру НАТО.
16. См. сайт http://www.cordis.lu/nanotechnology/src/intlcoop-ru.htmt.
17. Я благодарен Марку Габраду, указавшему мне на допущенную ранее ошибку, так как в публикации [Altmann, 2001: 94, 95] я отрицательно отнесся к утверждениям Пилсбери.

ГЛАВА 4. ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВОЕННЫХ ПРИМЕНЕНИЙ НАНОТЕХНОЛОГИИ

1. Как уже отмечалось в разделе 1.2, некоторые примеры выявились лишь в процессе написания книги.
2. Проблемы размера воспринимающих антенн возникают при создании электронных устройств, подзаряжаемых извне с расстояния в несколько метров различными радиочастотными или индукционными методами.
3. Расчет основан на предположении, что мозг содержит 10^{11} нейронов, имеющих в среднем по 10^3 синаптических связей, передающих по 200 импульсов в секунду [Kurzweil, 1999: Ch. 6]. Примерно такое же значение получается при оценке потребляемой энергии [Merkle, 1989].
4. Существует также футуристическая концепция создания таких транспортных средств сугубо гражданского назначения [BMBF, 1998: 6, 7].
5. Авторы публикации [Glasston and Dolan, 1977: 13] оценивают эту энергию обычными методами величиной 3,8–4,8 МДж/кг, полагая 10^{12} кал/кг = 4,2 МДж/кг. Близкие значения приводятся в известных справочниках: 4,52 МДж/кг [*Encyklopadie* Ullmans, 1982: Table 5] и 5,07 МДж/кг [Kubota, 2002: Table 4.3].
6. Изотопный состав уранового сердечника, естественно, не влияет на проникающую способность снаряда. *Обедненный* уран (таким называют уран с содержанием урана-235 менее 0,2 %, в противоположность природному урану, где это содержание составляет 0,7 %) используется в ударниках бронебойных снарядов лишь по одной причине. Проблема заключается в том, что на заводах США, связанных с обогащением урана для атомного оружия и реакторов (т.е. с обогащением до уровня выше выше 90 %

3 % соответственно) в отходах скопились сотни тысяч тонн такого обедненного материала, не имеющего никакого практического применения.
7. Объемные аморфные металлы или металлические стекла представляют собой сплавы (обычно из пяти металлов), в которых из-за химической разности атомов (размеры и т.п.) не образуется кристаллическая решетка. Такие сплавы по упругим характеристикам вдвое превосходят обычные поликристаллические материалы. Некоторые из них используются в коммерческих целях, например, из Vitreloy-1 (сплав циркония, титана, меди, никеля и бериллия) изготавливаются клюшки для гольфа, однако уже есть сведения и о более серьезных применениях, в частности для бронебойных снарядов [Johnson, 1999].
8. В работе [Magness et al., 2001] предлагается использовать сплав, не содержащий ядовитого бериллия (из гафния, титана, никеля, меди и алюминия). Некоторые сведения о металлических стеклах приведены в работах [Dowding, 2003] и [Army RTD&E, 2001]. В программе DARPA под названием «Структурные аморфные металлы» исследуются возможности использования этих материалов для более широкого круга задач.
9. В цитированной работе [Magness et al., 2001] рассматриваются только планы и перспективы США, поскольку в некоторых странах (например, в Германии и Швейцарии) использование обедненного урана запрещено вообще, вследствие чего для аналогичных целей применяют сплавы вольфрама [Lanz et al., 2001].
10. В проектах NRL рассматривается возможность создания стеклянных решеток (матриц) с наноканалами для соединения тысяч или миллионов нейронов, а также двухмерных мультиплексных устройств на этой основе [Kafafi, 2003: 18–22].
11. Беспилотный самолет Predator (вооруженный ракетой Hellfire) уже использовался в Йемене Армией США для уничтожения шести предполагаемых террористов в ноябре 2002 года [Hoyl and Koch, 2002].
12. Например, ускорители истребителя EuroFighter позволяют развивать вертикальное ускорение до 9g (g – ускорение силы тяжести, 9,8 м/сек^2), однако на практике работу таких ускорителей ограничивают величиной 7g, соответствующей физиологическим возможностям человека-пилота.
13. Более подробные сведения о мини/микроботах на основе MST и ранних военных НИОКР в этой области читатель найдет в работе [Altmann, 2000: 202].
14. Между формальными определениями «умных микроракет» и «малых снарядов, способных к поиску цели», существует некоторое перекрывание, в результате чего возникает так называемая «серая зона» неопределенности.
15. Первым поколением ядерного оружия называют атомные (урановые и плутониевые) бомбы, действие которых основано на реакциях ядерного деления, вторым – водородные бомбы (двухстадийного действия), в которых атомная бомба инициирует реакцию термоядерного синтеза, а третьим – бомбы с выделенным воздействием отдельных компонент взрыва (нейтронное излучение, мощные электромагнитные импульсы).
16. См. примечание 19 к главе 1.

17. Конвенция CWC относится, как отмечается в разделе 6.4.7, только к химическим агентам, воздействующим на человека и животных. С другой стороны, широкое использование гербицидов, модифицирующих флору, подпадает под ограничения Конвенции по модификации окружающей среды 1977 года [ENMOD, 1977].
18. Секретные военные разработки разных типов «отключающих» агентов, лишающих человека возможности двигаться или действовать сознательно, проводились уже давно, причем в них использовались даже наркотические средства (опиаты). Стоит отметить, что эти исследования не имели отношения к нанотехнологии, а проводились в рамках программ развития так называемых несмертельных (non-lethal weapons) видов оружия [Sunshine, 2004]. Рассуждения об опасности развития таких технологий для Конвенций CWC и BTWC приводятся в документе [CBWCB, 2003].
19. Применимость ограничений Конвенции BTWC к искусственным системам представляется достаточно спорной. Некоторые вопросы, относящиеся к сложностям разделения химических и биологических видов оружия, а также к потенциальным возможностям заключения новой, всеобъемлющей конвенции, рассмотрены в разделе 6.4.7.
20. Известно, что ранее осуществлялись какие-то (частично засекреченные) разработки по использованию генетически модифицированных микробов для воздействия на материалы или в качестве «маркеров» [Sunshine, 2002, 2002a], но они не были связаны с нанотехнологиями. С другой стороны, использование таких средств в военных целях запрещено Конвенцией BTWC.
21. Единственным исключением может считаться гипотетическая ситуация, при которой ядерное микрооружие станет общедоступным и дешевым.
22. Стоит упомянуть, что (к большому сожалению специалистов) использование приставок микро-, нано-, пико- и фемто- по отношению к малым спутникам уже давно практикуется [SSHP, 2001], причем эти приставки применяются неправильно! Ими обозначают малые спутники весом от 100 до 0,1 кг (с коэффициентом уменьшения 1/10). Поскольку по правилам системы единиц СИ коэффициент уменьшения в данном случае должен составлять 1/1000, было бы очень полезно отменить принятые раньше неверные определения.

ГЛАВА 5. ПРЕВЕНТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ НАД ВООРУЖЕНИЯМИ

1. Еще одним фактором безопасности является ответственность фирм-производителей, хотя обычно новые правила и ограничения вводятся лишь после очевидных проявлений опасности и нередко являются запоздавшими.
2. Конечно, при введении ограничений должна учитываться значительная разница в социально-культурных традициях. Например, в большинстве цивилизованных обществ владение личным оружием давно запрещено или сильно ограничено, однако в США обладание оружием является неотъемлемым и привычным правом населения.

3. Преимущественное развитие оборонительных средств означало бы и ограничение развития военных структур и видов оружия, предназначенных для действия на больших расстояниях. Для тех случаев, когда такие действия представляются необходимыми (например, при проведении миротворческих операций), следует разработать строгие правила и рекомендации, выработанные с участием ООН.
4. Этот вопрос редко обсуждается публично, хотя является очень важным и сложным. В качестве примера можно привести ситуацию начала 90-х годов, когда Пол Вульфовиц (бывший тогда заместителем министра обороны США по вопросам внешней политики) подготовил черновой проект оборонительной доктрины, где особо отмечалось, что режим нераспространения ядерного оружия может привести к началу секретных разработок в некоторых странах (Германия, Япония и т.д.). Такие действия, по мнению Вульфовица, могли привести к глобальному соревнованию в указанном направлении, а в случае кризиса – и к военному сотрудничеству между союзниками [Tyler, 1992]. Позднее текст был изменен, но он никогда не публиковался.
5. Такие аргументы часто используются во внешнеполитических дискуссиях по военному сотрудничеству. Например, США часто упрекают своих союзников по НАТО в том, что последние недостаточно развивают военно-техническую базу своих армий. Интересно, что никто не требует от США некоторого «замедления» своего стремительного оснащения новейшими видами оружия для лучшей «кооперации» с отстающими союзниками.
6. Проблема недоверия к поведению стран, получающих или покупающих новые технологии, является одной из сложнейших, так что использование строгих ограничений сейчас представляется оптимальным решением.
7. В частности, возникали споры по поводу включения «гонки вооружений» в критерии группы II, а также концептуальные разногласия относительно разделения критериев опасности для всего человечества и окружающей среды в группе III. В конечном счете эти пункты были разделены, что противоречит более ранней позиции по этому вопросу автора данной книги [Altmann, 2001].
8. Для лазерного оружия с выводом излучения, поражающего материалы (а не глаза и датчики), был предложен верхний предел средней мощности (100 Вт) и ограничение на диаметр излучаемого пучка (0,15 м). Для мощных лазеров с выводом излучения гражданского назначения были предложены три пороговых значения яркости и два ограничения на диаметр используемых зеркал, а также право инспекции, усиление мер уведомления, лицензирования и предотвращения несанкционированного применения [Altmann, 1986, 1994].
9. Специальная группа (Ad Hoc Group) была официально утверждена в 1994 году, но этому предшествовали встречи правительственных экспертов и представителей в 1992–1993 годах.
10. Рассмотренный в разделе 5.1.1 «предупредительный» принцип еще нуждается в развитии и широком распространении в сфере международных

отношений и безопасности. Этот принцип содержит в себе интересное противоречие с представлениями о гражданском праве. Дело в том, что в коммерческом производстве ограничение любого производства требует наличия прямых доказательств опасности новой технологии или товаров, в то время как в военной области очень часто развертывание новых типов вооружений и технологий осуществляется просто на основании недостоверных предположений о наихудшем варианте развития событий.

11. Стоит упомянуть, что СТВТО продолжает существовать на правах Подготовительного комитета, поскольку соответствующий договор не был подписан.
12. Ядерные державы могут использовать для обсуждаемых целей и богатые базы данных, накопленные за годы предыдущих испытаний. Развитие вычислительных систем позволяет сейчас осуществлять трехмерное моделирование ядерных взрывов в такой степени, что на этой основе можно создавать новые боеголовки и типы оружия (см. подраздел 4.1.19.2), хотя неясно, согласится ли военное руководство принимать на вооружение новые типы зарядов, не прошедшие реальных испытаний.
13. Разумеется, при более детальном подходе можно разбить процесс внедрения на большее число этапов и стадий. Например, очень часто при испытаниях новых систем возникает ситуация, когда доработки требуют только отдельные компоненты системы. Обычно в таких случаях испытания остальных компонент продолжаются, а система в дальнейшем модифицируется в обычном порядке.
14. Более детальное рассмотрение практического применения требует отдельного учета процессов хранения, транспортировки и обслуживания. На поздних стадиях «жизненного цикла» любой военной техники необходимо принимать во внимание много других проблем (модификация, обслуживание при выводе техники из рабочего состояния, а также уничтожение или передача в распоряжение других стран и т.п.), однако они не относятся к задаче превентивного контроля вооружений.
15. Еще в середине 90-х годов Ассоциация исследователей и изготовителей фармацевтических препаратов США выдвинула серьезные возражения против предполагаемого введения неожиданной проверки лабораторий и производств. Американские специалисты считают, что такие проверки могут стать источником утечки ценной информации или нарушения патентных прав. В 2001 году правительство США под воздействием этих доводов вышло из переговорного процесса, однако другие участники переговоров до сих пор подозревают, что основным поводом для такого поведения стало желание США сохранить в тайне некоторые секретные военные разработки. Дополнительную информацию по этой тематике читатель может найти в работах [Nixdorff et al., 2003: Section 8.6; Rissanen, 2002; Feakes and Littlewood, 2002].
16. Сфокусированное излучение лазера на расстояниях в десятки метров может вызвать пожар и расплавить металлические детали. Микроволновой источник той же мощности сможет облучать область диаметром в несколько километров, но плотность излучаемой энергии будет соответствовать солнечному освещению [Altmann, 1986: Section 7.3.5.9, 1994].

ГЛАВА 6. ВОЗМОЖНОСТИ ПРЕВЕНТИВНОГО КОНТРОЛЯ НАД НАНОТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ВИДАМИ ОРУЖИЯ

1. В статье 2(2) Конвенции по противопехотным минам дается следующее определение: «...миной называется боеприпас и оружие, помещенное на поверхности (или близко к поверхности) земли или другой среды, предназначенное для взрыва при контакте или приближении человека или транспортного средства» [APMC, 1997].
2. Например, при переговорах о запрете лазерного ослепляющего оружия эксперты США долгое время доказывали, что ослепление противника является не столь жестоким действием, как убийство. Однако в конце 1995 года они сняли свои возражения и все же подписали протокол о запрете такого оружия [Morton, 1998].
3. Следует каким-то образом различать предупредительную атаку (предпринимаемую под угрозой непосредственного нападения со стороны противника) от *превентивного нападения*, осуществляемого с целью подавления способности противника развязать военные действия в будущем. Первое действие подпадает под общепризнанное право самообороны (см. статью 51 Хартии ООН), второе является совершенно незаконным (в противном случае можно будет оправдать любое нападение).
4. Эти доводы не были учтены в работе [Altmann, 2001: Ch. 6].
5. В качестве примера можно привести существовавшую ранее ситуацию, когда западным фирмам было запрещено экспортировать в страны Варшавского договора новейшие микропроцессоры, которые одновременно (в миллионах экземпляров) входили в состав самой разнообразной техники бытового назначения.
6. Разумеется, можно утверждать, что медицинские системы армейского назначения следует развивать из-за того, что они снижают потери личного состава и страдания людей, однако рассуждения такого типа отличаются непоследовательностью, так как по этой логике нужно бороться также за упрочнение брони и за развитие любых оборонных систем. В сущности, человеческий фактор участия во всех военных конфликтах должен оговариваться особо.
7. Эта возможность обсуждается в работе [Brendley and Steeb, 1993: 30].
8. Разумеется, малые размеры и вес ядерных микрозарядов (около 10 сантиметров длиной и 1 кг) позволят легче скрывать или транспортировать их, однако перевозка современных ядерных устройств (имеющих размер около 1 м и вес ~ 100 кг) тоже не связана с особыми трудностями.
9. Уже сейчас местоположение человека, разговаривающего по мобильному телефону, можно определить с точностью до нескольких километров

(расстояние между станциями передачи), а при использовании широкополосных линий связи это расстояние быстро уменьшится до сотен метров, так что станет возможной регистрация отдельных строений.

10. В публикации [Sunshine, 2004a] содержится интересная информация о дискуссиях и судебных исках, связанных с принудительной прививкой от сибирской язвы и других болезней в Армии США.
11. Отметим, что в таблицу и рассмотрение не включены многие приложения микросистемной техники, которые могут быть усилены и развиты при использовании НТ. Такие приложения относятся к оптике, струйной технике, системе инерциального измерения или управления/наведения, безопасности/вооружения/детонации, идентификации авиационных аппаратов по принципу «свой/чужой», дистанционному обнаружению химических и биологических агентов, микрохимическому анализу, биотехнологическому/биомедицинскому анализу *in vitro*, имплантированным устройствам для локализации/идентификации и мини/микроминам. Дополнительные сведения об этих приложениях можно найти в работе [Altmann, 2001: Ch.6].
12. Отказ Правительства США ратифицировать всеобъемлющий договор о запрете ядерных испытаний и явное желание нынешней администрации США в короткий срок добиться их возобновления демонстрирует, что милитаристские мотивы в политике продолжают существовать. Более того, такие настроения угрожают процессу заключения мирных договоров и продлению уже существующего моратория на ядерные испытания.
13. Аналогичные требования выдвигались и в отношении MST [Altmann, 2001: Ch. 7, 8].
14. Некоторые из этих вопросов обсуждались раньше [Altmann, 2003].
15. В этой связи можно отметить, например, что запрет на производство крылатых ракет наземного базирования с дальностью действия более 500 км (Договор INF 1987 года) относился только к США и России, в то время как все остальные страны не брали на себя никаких обязательств.
16. Стоит отметить четкое и ясное заявление германской делегации на переговорах по Договору CFE: «...определение "боевая машина" относится ко всем типам и вариантам боевых устройств и транспортных средств, уже существующих или проектируемых, независимо от наличия экипажа или возможного автоматического управления» [Hartmann et al., 1992: 66]. Я благодарен доктору Гансу-Йоахиму Шмидту из PRIF, указавшему мне на эту формулировку.
17. Определения транспортных средств: боевые машины с тяжелым вооружением (вес > 6 тонн, калибр пушки > 75 мм), боевые машины пехоты (основная задача – перевозка пехотного отделения, калибр пушки > 20 мм, иногда с противотанковой установкой) и бронетранспортеры (перевозка пехотного отделения, калибр пушки обычно < 20 мм) [CFE, 1990: Art. II].
18. См. информацию на сайтах:
http://www.robocup.org

http://www.avdil.gtri.gatech.edu/AUVS/IARCLaunchPoint.html; http://www.engr.arizona.edu/MAVcompetition.

19. Это словосочетание включает животных с введенными электродами и т.д., но не относится к генетически модифицированным созданиям. Модификация для создания токсинов запрещена Конвенцией BTWC. В настоящее время исключен лишь контроль над поведением, достигаемый посредством генетических методов. Если когда-нибудь генетическое преобразование животного в контролируемый робот станет возможным, то возникнет и необходимость ввести в определение таких животных дополнительный термин «искусственный».
20. Аналогичные запреты предлагались для технологий MST [Altmann, 2001: Ch. 7, 8].
21. Если мини/микророботы не будут запрещены, то они могут подпасть под запрет существующего Договора о противопехотных минах, так как такие роботы (если они будут нести взрывчатый заряд и датчики на присутствие человека) можно будет рассматривать в качестве обычных мин (подвижного типа).
22. Вообще говоря, космическое оружие может быть развернуто на Земле, в воздухе и в космосе, причем оно может быть также нацелено на наземные, воздушные и космические объекты. Наибольшую опасность представляет использование малых спутников в качестве противоспутникового оружия.
23. СССР и США проводили испытания антиспутникового оружия, однако не приступили к развертыванию таких систем [Krepon, 2001].
24. См. работу [Altmann and Scheffran, 2003]. Такие же запреты предлагались при рассмотрении технологий MST [Altmann, 2001: Ch. 7, 8].
25. В качестве примера таких неоправданных подозрений можно привести возражения против использования малых спутников в коммерческих целях и отношение американской Комиссии по безопасности космического пространства (Комиссии Rumsfeld-II) к воображаемым китайским планам противодействия спутникам США [Wilson, 2001: 18, 29ff].
26. Строгие правила контроля (включая возможность инспекции и проверки) станут возможны лишь после коренного пересмотра нынешних представлений о защите прав личности. Некоторые намеки на гигантские грядущие перемены содержат рекомендации Института прогнозов [Foresight, 2000], исходящие из того, что развитие молекулярной технологии неизбежно, но к этому следует готовиться, тщательно оценивая риски возможных преобразований общественной жизни.
27. В данной ситуации предвидения и рекомендации Института прогнозов [Foresight, 2000] представляются противоречивыми, так они, с одной стороны, предполагают международное сотрудничество, а с другой – отрицают возможность введения международных ограничений, исходя из невозможности 100%-й уверенности в эффективности контроля (см. раздел 1.5.6).

ГЛАВА 7. ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Стоит отметить, однако, что риск военного использования нанотехнологии упоминается в документах Комиссии только один раз [Altmann and Gubrud, 2002].
2. Весьма показательно, например, что Объединенный директорат США по разработке нелетальных видов оружия принял решение по прекращению всех разработок инфразвукового оружия в 1999 году из-за отсутствия сколь-нибудь значимых результатов исследований [Altmann, 2001a].
3. В качестве примера можно привести решение Правительства США развернуть систему противоракетной обороны на Аляске [Gronlund et al., 2004].
4. Например, речь может идти о нелетальных видах оружия (типа «отключающих» агентов), что также связано с некоторыми проблемами [CBWCB, 2003; Wheelis, 2003; Sunshine, 2004].
5. Похожая ситуация складывается сейчас вокруг переговоров о ратификации Конвенции о противопехотных минах 1997 года.

Послесловие редактора и переводчика

Появление монографии, посвященной военным приложениям нанотехнологии, представляется совершенно естественным. «Нанотехнологический бум» продолжается более 15 лет, что уже привело во многих странах к значительной перестройке структуры научно-исследовательских программ, созданию новых производств, выпуску новых материалов и товаров. Неудивительно, что общая тенденция затронула и военно-технический комплекс, в результате чего новые идеи и технологии все чаще находят конкретные приложения и реализуются в виде образцов новой техники. Читатели наверняка заметили, сколь часто в средствах массовой информации стали появляться сообщения о новых типах оружия, явно имеющих прямое или косвенное отношение к нанотехнологии или микросистемной технике. Например, недавно газеты сообщали об использовании в ближневосточном конфликте специальных пуль с вмонтированной телекамерой, что позволяет мгновенно оценивать боевую обстановку и управлять войсками на поле боя в режиме реального времени. Высокая эффективность применения новых устройств и материалов в военной технике представляется бесспорной и не нуждается в подтверждениях (хотя, разумеется, применение новой техники требует выработки новых тактических и стратегических приемов).

Несколько неожиданным является то, что первый систематический обзор военных приложений нанотехнологии написан не профессиональным военным, а физиком, который одновременно является специалистом по проблемам разоружения. Нам кажется, что этот факт отражает осознание масштабов «нанотехнологической революции» и серьезных опасностей, связанных с ее развитием и применением в военных целях.

Нанотехнологические исследования продолжают непрерывно расширяться и развиваться в количественном и качественном отношении, следствием чего стало быстрое увеличение числа новых книг и журналов, связанных с этой тематикой (отметим, что из 42 узкоспециализированных «наножурналов», перечисленных выше в Приложении 3, около половины было добавлено при переводе).

Несмотря на столь бурный рост, нанонаука остается все еще недостаточно «определенной» областью знаний, а ее фундаментальные основы, парадигмы и термины окончательно не сформулированы. Это обстоятельство значительно затрудняет перевод и просто понимание многих текстов. Нанотехнология остается очень «широкой», в результате чего, например, английский термин *pattern* используется химиками, микробиологами, материаловедами и специалистами по искусственному интеллекту в совершенно разных смыслах. Такие трудности характерны для любой науки в период бурного роста и формирования теоретических и методологических основ.

В стадии становления остаются и сами определения исследований в рассматриваемой области. Известно несколько определений «нанонауки», «на-

нотехнологии», «нанофизики» и т.д. (см., например, работы [1–4]), однако почти все они страдают недостаточной общностью и плохой сочетаемостью. Представляется целесообразным ввести в широкий обиход термин «наноразмерный объект» или «нанообъект» в сочетании с каноническими определениями науки и технологии [5], подразумевая под этим вещества, материалы и устройства, характерные размеры которых не превышают ~ 100 нм (по крайней мере в одном из измерений). В этом случае нанотехнология будет означать технологию таких наноразмерных объектов, нанофизика – физику таких объектов и т.д. Следует отметить, что термин «малоразмерный объект» (low-dimensional subject) фигурирует в названиях двух международных журналов по рассматриваемой тематике (см. Приложение 3), но в этом случае речь идет об объектах, обладающих «низкой» пространственной размерностью (< 3), к которым относятся некоторые квантово-механические структуры, также связанные с нанотехнологиями.

Основной темой книги, естественно, стала классическая проблема оценки перспектив и рисков развития новой технологии для будущего развития человечества. Опасные для общества военные приложения новых технологий с незапамятных времен соответствовали каждому шагу продвижения человека на пути научного прогресса и любому научно-техническому новшеству. Гражданские и военные приложения новых технологий всегда были связаны: новое оружие использовалось и для охоты, и для войны; новые методы позволяли получать лекарства и отравляющие вещества; развитие авиации принесло межконтинентальные перелеты и бомбардировочную авиацию и т.д – этот список можно легко расширить и продолжить. Однако ситуация с военными приложениями нанотехнологии имеет несколько важных отличий. Во-первых, нанотехнология охватывает чрезвычайно широкий спектр научно-технических применений (как в гражданской, так и в военной сфере) вообще почти в любых областях деятельности, включая физику, химию, материаловедение, энергетику, информационные технологии и множество других отраслей. Во-вторых, нанотехнология открывает во всех этих областях науки и техники совершенно новые, иногда просто фантастические возможности для создания новых материалов и устройств. В-третьих, в нанотехнологии происходит конвергенция (объединение, слияние) самых разных научных направлений. Междисциплинарный характер нанонауки меняет общую парадигму исследований, одновременно создавая непростые проблемы обучения и подготовки кадров.

В-четвертых, необходимо учитывать широкий информационный обмен в области нанонауки и нанотехнологии, интенсивное накопление информации и быстрый рост числа стран, входящих в мировое «наносообщество» (помимо государств, известных своими научно-техническими традициями и возможностями, среди них все чаще появляются развивающиеся страны). В-пятых, интерес к военной нанотехнологии постоянно возрастает из-за опасности неконтролируемого попадания опасных технологий в руки террористов и участников локальных конфликтов. Наконец, в-шестых, это диктуется тем, что (в отличие от разработок биологического, химического и ядерного оружия) в

настоящее время полностью отсутствуют какие-либо международные соглашения и акты, относящиеся к превентивному контролю над развитием опасных нанотехнологических проектов и их военными приложениями.

Существует еще один аспект военной нанотехнологии, о котором следует упомянуть особо. В некоторых западных публикациях все чаще подчеркивается «ценность» нанотехнологического оружия именно в современных геополитических и общественно-социальных условиях. Во-первых, речь идет о создаваемых НТ возможностях массового контроля и управления большими коллективами людей (такая возможность приобретает особое значение в случае возникновения массовых беспорядков, бунтов и т.п.). Во-вторых, некоторые военные специалисты полагают, что НТ-оружие является особо выгодным и удобным для промышленно развитых держав в их борьбе со странами «третьего мира». Они считают, что нанотехнологии позволят организовывать так называемые «чистые войны» (clean wars), при которых боевые действия осуществляются высокотехническим оружием, что обещает минимизировать потери личного состава.

В связи с социальными и военными проблемами развития нанотехнологий интересно отметить следующее. В библиографии книги читатель обнаружит ссылку на работу знаменитого польского писателя-фантаста Станислава Лема. Дело в том, что покойный писатель был одновременно крупным ученым в области социологии и футурологии. Более того, он одним из первых обратил внимание на возможности развития нанотехнологии еще тогда, когда эта молодая наука еще не обрела названия. Он написал много работ об опасностях применения НТ как в военной, так и в гражданской областях, а его полусерьезную-полушутливую книгу «Системы оружия XXI века» можно считать первой монографией о военной нанотехнологии. Книга была опубликована еще в конце 80-х годов, но осталась незамеченной, как, впрочем, и многие ранние публикации Дрекслера и других авторов. Читатель найдет много интересных и полезных сведений об истории, социологии и возможностях нанотехнологии в разных художественных и публицистических произведениях С. Лема, особенно в недавно опубликованном сборнике эссе «Молох».

Книга Ю. Альтмана содержит анализ многочисленных источников по истории и состоянию дел в военной нанотехнологии вплоть до 2004 года. Некоторые упущения и дополнительную информацию по излагаемой проблеме можно обобщить следующими замечаниями:

1. Из поля зрения автора выпал известный двухдневный семинар, проведенный в Великобритании в ноябре 2003 года. Из представленных на нем материалов особое внимание привлекает доклад Дж. Парментола, посвященный «изменению парадигмы развития вооруженных сил» [6].
2. Судя по данным Министерства обороны США [7], финансирование нанотехнологических исследований этим ведомством продолжает наращиваться. Кроме этого, значительно возрастают и общие бюджетные расходы на нанотехнологию. Читатель может сам оценить динамику роста

американских расходов на НТ, сравнив приводимые в книге данные (табл. 3.1. Финансирование исследований в рамках Национальной нанотехнологической инициативы за 2000–2004 годы) с «продолжением» этой таблицы на период 2005–2007 годов [8].

Таблица. Финансирование исследований в рамках ННИ в 2005–2007 годах (в млн. долл.)

Агентство	2005 (фактически)	2006 (оценка)	2007 (запрос)
Национальный научный фонд	335	344	373
Министерство обороны	352	436	345
Министерство энергетики	208	207	258
Национальный институт здоровья	165	172	170
Национальный институт стандартов и технологии (NIST)	79	78	86
НАСА	45	50	25
Управление по охране окружающей среды	7	5	9
Министерство сельского хозяйства (USDA)	3	3	3
Министерство безопасности (DHS)	1	3	3
Министерство юстиции (DOJ) и др.	2	2	2
Полный объем финансирования в рамках ННИ	~ 1200	~ 1300	~ 1280

Некоторое снижение бюджетных запросов на 2007 год (последний столбец) является лишь привычной для США финансовой уловкой, поскольку при запросе не учитываются так называемые «Дополнительные ассигнования Конгресса» (Congressional additions, earmarks), обычно составляющие весьма заметную часть реального объема выделяемых средств.

3. Наряду с возможными военными приложениями нанотехнологий, в литературе все чаще стал обсуждаться вопрос о вполне реальной опасности многих нанопродуктов и веществ для здоровья населения и состояния окружающей среды. Токсичное действие многих пылевидных частиц (например, кремниевых соединений, бериллия, аэрозолей, соединений тяжелых металлов и т.п.) известно давно. За последние годы в ряде стран (в частности, в Великобритании) были проведены детальные исследования токсичности наночастиц, особенно весьма популярных фуллеренов и углеродных нанотрубок [9]. Исследования *in vivo* и *in vitro* наглядно подтвердили наличие существенных воздействий, а также серьезность проблемы в целом.

4. О значительном расширении круга стран – участников «наносообщества» свидетельствуют результаты анализа, проведенного фирмой «Lux Research» [10], по данным которой в 2005 году нанотехнологические исследования и разработки осуществлялись в 51 стране мира. Четырнадцать из этих стран, квалифицированных авторами анализа в качестве наиболее продвинутых, были, в свою очередь, разбиты на 4 перечисленные ниже группы, исходя из масштабов бюджетного финансирования, научно-технического потенциала, количества публикаций и возможностей реализации достижений.

Группа I – США, Япония, ФРГ и Южная Корея (авторы называют их «безусловными лидерами»).

Группа II – Тайвань, Израиль и Сингапур (страны с небольшим населением, активно развивающие нанотехнологию, которые авторы анализа образно именуют «игроками ниши», подразумевая их возможное преимущество лишь в узких направлениях).

Группа III – Великобритания и Франция (страны, именуемые «башнями из слоновой кости», которые обладают высоким научно-техническим потенциалом, но пока очень «скромны» в развитии технических приложений).

Группа IV – Китай, Канада, Австралия, Россия и Индия.

Авторы аналитического исследования особо подчеркивают амбициозные стремления Китая перейти в группу «безусловных лидеров». В Китае быстро растет бюджетное финансирование нанотехнологических исследований (в 2003 г. – 100 млн долл. США, в 2004 г. – 200 млн долл.). Стоит отметить и стремительный рост числа журнальных публикаций, так как, по данным Science Citation Index, в 2004 г. Китай по числу научных публикаций вышел на второе место в мире, обогнав такие страны, как Япония, ФРГ и др. [11].

Россия, как видно из данных [10], занимает в мировом нанотехнологическом «рейтинге» достаточно скромное место. В этой связи хотелось бы отметить, что предположение Ю. Альтмана о возможном сокрытии Россией данных (по своим военным нанотехнологическим приложениям и т.п.) представляется малосостоятельным. Общеизвестно крайне слабое финансирование и гражданской науки, и военно-технических разработок в России в течение последних 17 лет. Из разработок последних лет стоит отметить проведенные Минатомом России нанотехнологические исследования конверсионного плана, включающие работы по нанопористому бериллию, ультрадисперсному ядерному топливу и т.п. [12, 13]. В 2004 году Россия по числу публикаций была на восьмом месте (в 1994 г. – на седьмом) [1, 11], а масштаб финансирования нанотехнологических исследований составил в 2005 году лишь 1,4 миллиарда руб. [14]. В 2006 году ожидается принятие федеральной целевой программы «Создание исследовательской, инновационной и производственной инфраструктуры для наноиндустрии» (2007–2009 годы)

с существенным увеличением бюджетного финансирования (до 10 млрд рублей в год), что позволит вывести нашу страну на передовые рубежи в нанотехнологической сфере [15]. В ряде российских высших учебных заведений начата подготовка специалистов в области наноэлектроники, наноматериалов и т.д. Анализируя ситуацию в России, стоит подчеркнуть, что хотя в некоторых важных направлениях (нанофизика, нанохимия, наноматериаловедение) Россия обладает достаточно квалифицированными учеными и имеет заметные научные результаты (см., например, [3, 11, 16–19]), однако в целом ряде областей нанонауки (нанобиология, наномедицина и т.п.) исследования только начинаются.

Предлагаемая книга является первой попыткой поднять проблему потенциальных опасностей военных приложений нанотехнологии на соответствующий глобальный общественно-политический и военно-технический уровень. Хочется надеяться, что публикация монографии Ю. Альтмана даст толчок новым разработкам, включая социологические и международно-правовые исследования, которые позволят в дальнейшем выработать превентивные меры контроля над новыми и весьма опасными видами вооружений.

Р. А. Андриевский
А. В. Хачоян
Черноголовка, август 2006 г.

Литература

1. Нанотехнология в ближайшем десятилетии / Под ред. М.К. Роко, Р.С. Уильямса и П. Аливисатоса; Пер. с англ. под ред. Р.А. Андриевского. М.: Мир, 2002.
2. *Пул Ч., Оуэнс Ф.* Нанотехнологии / Пер. с англ. под ред. Ю.И. Головина. М.: Техносфера, 2004.
3. *Андриевский Р.А., Рагуля Ф.В.* Наноструктурные материалы. М.: Изд. центр «Академия», 2005.
4. Nature Materials, **4**, 107–109, 2005.
5. *Андриевский Р.А.* Основные проблемы наноструктурного материаловедения //Наноструктурное материаловедение. 2005. № 1.
6. *Parmentola J.* Paradigm Shifting Capabilities for the Future Force. 2-nd Defence Nanotechnology Conference Documents, London, November 2003.
7. http//www.nano.gov
8. The National Nanotechnology Initiative. Supplement to the President's 2007 Budget.
9. Characterising the potential risks posed by engineered nanoparticles. A first UK Government research report. HM Government, 2005.
10. http://luxresearchinc.com
11. *Kostoff R.N., Stump I.A., Johson D. et al.* Journal of Nanoparticle Research, **8**, №3, 2006.

12. Физикохимия ультрадисперсных (нано-)систем: Сб. научн. тр. VI Всероссийской (международной) конференции / Под ред. Петрунина В.Ф. М.: МИФИ, 2003.
13. *Petrunin V.F.* Mater. research Soc. Symp. Proc. 2002.
14. *Фурсенко А.А.* РИА «Новости». 15 декабря 2005 г.
15. Газета «Поиск». № 25. 23 июня 2006 г. С. 3, 18.
16. *Алферов Ж.И.* Двойные гетероструктуры: концепции и применения в физике, электронике и технологии (Нобелевская лекция, Стокгольм, 8.12.2000)/Успехи физ. наук. **172** (9). С. 1068. 2002.
17. *Валиев Р.З., Александров И.В.* Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. М.: Логос, 2000.
18. *Суздалев И.П.* Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. М.: КомКнига, 2006.
19. Научная сессия общего собрания РАН по нанотехнологии // Вестник Российской академии наук. Т. 73. № 5. С. 387–462. 2003.

Взгляд со стороны на зарубежные программы по военной нанотехнологии

Физика низкоразмерных структур – актуальнейшая и наиболее динамично развивающаяся область современной физики твердого тела. Интерес к этой области связан как с принципиально новыми фундаментальными научными проблемами и физическими явлениями, так и с перспективами создания на основе уже открытых явлений совершенно новых квантовых устройств и систем с широкими функциональными возможностями для опто- и наноэлектроники, измерительной техники, информационных технологий нового поколения, средств связи и пр. Результатом исследований низкоразмерных систем стало открытие принципиально новых, а теперь уже широко известных явлений, таких как целочисленный и дробный квантовый эффект Холла в двумерном электронном газе, вигнеровская кристаллизация квазидвумерных электронов и дырок, обнаружение новых композитных квазичастиц и электронных возбуждений с дробными зарядами, высокочастотных блоховских осцилляций, а также многое другое. Современные полупроводниковые лазеры на гетеропереходах также основаны на использовании низкоразмерных систем (структуры с квантовыми ямами, самоорганизующимися квантовыми точками и квантовыми нитями). Наиболее выдающиеся достижения в этой области отмечены тремя Нобелевскими премиями по физике (1985 год – за открытие квантового эффекта Холла; 1998 год – за открытие дробного квантового эффекта Холла; 2000 год – за труды, заложившие основы современных информационных технологий).

Развитие этой области открыло возможности конструирования средствами зонной инженерии и инженерии волновых функций и последующего изготовления с помощью современных высоких технологий наноструктур (сверхрешетки, квантовые ямы, точки и нити, квантовые контакты, атомные кластеры и т.д.) с электронным спектром и свойствами, требуемыми для обнаружения и изучения новых физических явлений или для соответствующих приложений. Сконструированные таким образом наноструктуры являются, по существу, искусственно созданными материалами с наперед заданными свойствами.

Вне всяких сомнений, элементная база, основанная на использовании разнообразных низкоразмерных структур, является наиболее перспективной для электронной техники новых поколений. Однако при переходе к системам нанометрового масштаба начинает отчетливо проявляться квантовомеханическая природа квазичастиц в твердом теле. В результате возникает принципиально новая ситуация, когда квантовые эффекты (размерное квантование, конфайнмент, туннелирование, интерференция электронных состояний и др.) будут играть ключевую роль в физических процессах в таких объектах и в функционировании приборов на их основе.

Достижения в разработке и изготовлении наноструктур различного назначения в наибольшей степени определяются уровнем развития технологий, которые позволяют с атомной точностью получать наноструктуры необходимой конфигурации и размерности, а также методов комплексной диагностики свойств наноструктур, включая контроль в процессе изготовления (*in situ*) и управление на его основе технологическими процессами. По многим прогнозам именно развитие нанотехнологий определит облик XXI века, подобно тому, как открытие атомной энергии, изобретение лазера и транзистора определили облик XX столетия.

Поэтому неслучайно, что ежегодные мировые объемы инвестиций в нанотехнологии уже исчисляются миллиардами долларов и имеют устойчивую тенденцию к росту. Так, например, по данным агентства *Venture Analytics*, мировой объем инвестиций в сферу нанотехнологий в 2003 году оценивается в ~ 5,5 млрд долл. Надо отметить, что в отечественной и зарубежной литературе часто приводятся и более высокие цифры – 7,5 млрд долл. (за 2003 год). За период 1976–2003 годов в области нанотехнологий было зарегистрировано ~ 85–90 тыс. патентов (из них 64 % – патенты США). Практически весь мировой объем (~ 90 %) инвестиций в нанотехнологии сконцентрирован в 14 странах: США, Япония, Великобритания, Австралия, Германия, Израиль, Индия, Китай, Канада, Южная Корея, Франция, Финляндия, Сингапур, Тайвань. В большей части этих стран доля государственных расходов на работы по развитию нанонауки и нанотехнологий превышает 50 % от общего объема их финансирования в стране (рис. П.1).

Ежегодные темпы роста объемов финансирования нанотехнологических работ в мире, по данным Национального научного фонда США (NSF), могут составлять 1,0–1,5 млрд долл. в год. Быстрый рост вложений в нанотехнологии обусловлен фактом наличия сущест-

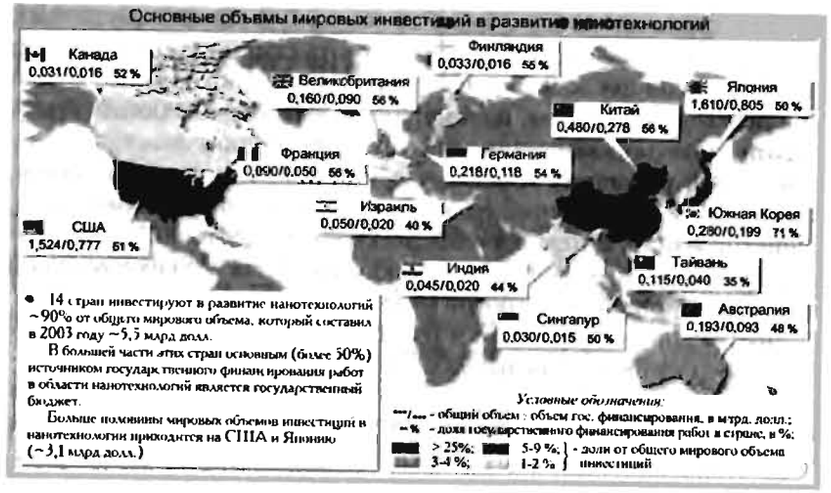


Рис. П.1. Основные объемы мировых инвестиций в развитие нанотехнологий (в 2003 году)

ного прогресса этой области исследований и разработок. В интересах планирования НИОКР и прогнозирования развития в 2003 году NSF фактически интегрировал (естественно, что терминологически) области наноматериалов, наноустройств, нанотехнологий и МЭМС-изделий. В рамках такого объединения были получены оценки, свидетельствующие о том, что объем американского рынка нанотехнологий к 2015 году достигнет 1 трлн долл. Патентная служба США (*US Patent and Trademark Office*) в октябре 2004 года открыла новый класс – Class 977 специально для патентов в области нанотехнологий. В соответствии с определением Патентной службы США, к нанотехнологическим изделиям относятся устройства с размерами (или один из габаритных размеров) от 1 до 100 нм и этот размер должен быть существенным для патентуемых функций. Это означает, что даже если некоторые компоненты, например, МЭМС-устройства могут быть отнесены к нанотехнологическим, то в целом МЭМС-устройство может и не соответствовать этим требованиям.

Мировыми лидерами по объемам инвестиций в нанотехнологии являются США и Япония. В этих странах сконцентрировано более половины мирового объема инвестиций.

Историческая справка.

Еще 75 лет назад российский физик-теоретик Георгий Гамов впервые получил решение уравнений Шредингера, описывающее возможность преодоления частицей энергетического барьера в случае, когда ее энергия меньше его высоты. Новое явление, называемое «туннелированием», позволило объяснить многие экспериментально наблюдавшиеся процессы. Найденное решение было применено для описания процессов, происходящих при вылете частицы из ядра, составляющих основу атомной науки и техники, в том числе нанотехнологии. Развитие электроники привело к использованию процессов туннелирования лишь почти 30 лет спустя, в середине 50-х годов, когда появились туннельные диоды, открытые японским ученым Л. - Есаки, ставшим нобелевским лауреатом. Еще через 5 лет Ю. Тиходеев, руководитель сектора физико-теоретических исследований в московском НИИ «Пульсар», предложил первые расчеты параметров и варианты применения приборов на основе многослойных туннельных структур, позволяющих достичь рекордных по быстродействию результатов. В середине 70-х годов они были успешно реализованы. Однако отцом нанотехнологий считают американского физика Ричарда Фейнмана, высказавшего в 1959 году мысль, что «принципы физики... не говорят о невозможности манипулирования веществом на уровне атомов». Конечно, подобные идеи существовали и ранее, но среди ученых такого ранга (в 1965 г. Р. Фейнману присуждена Нобелевская премия) он был первым, кто указал на это. Однако уровень развития науки и техники 50-х годов не позволял обсуждать всерьез возможное целенаправленное влияние на отдельные атомы.

Перелом наступил после изобретения в 1981 году Г. Бинингом и Г. Рорером, учеными из швейцарского отделения IBM, сканирующего туннельного микроскопа (СТМ) – прибора, дающего возможность воздействовать на вещество на атомарном уровне. В 1986 г. был создан атомно-силовой микроскоп (АСМ), позволяющий, в отличие от туннельного, осуществлять взаимодействие не только с проводящими, но с любыми материалами. При помощи туннельного микроскопа стало возможным «подцепить» атом и поместить его в нужное место, т.е. манипулировать атомами, а следовательно, непосредственно собирать из них любой предмет, любое вещество. С 1994 года начинается применение нанотехнологических методов в промышленности.

Надо заметить, что в США давно оценили перспективность государственных вложений в развитие нанотехнологий. Еще в начале 90-х

годов эта область разработок получила статус приоритетного направления развития США. Например, в 1995 году в соответствии с программами фундаментальных исследований Министерства обороны США (*Basic Research Plan, DoD*, February 1996), работы в области нанонауки были определены в рамках отдельного приоритетного направления (*Strategic Research Objectives* (SRO), ныне – *Strategic Research Area* (SRA)).

В Японии крупномасштабные и долгосрочные нанотехнологические проекты были развернуты в 1992 году.

Государственные расходы на нанонауку и нанотехнологии в 1997 году составили в миллионах долл.: 116 (США, из них 27 % в интересах МО), 128 (Япония), 120 (Западная Европа). Как результат таких крупных инвестиций, к началу 2000 года США заняли лидирующие позиции в области формирования и сборки наноструктур, разделяя с Европой лидерство в создании наноструктурных покрытий и наномасштабной биологии. Япония же достигла первенства в области разработок наноприборов и наноструктурных материалов повышенной прочности.

Учитывая возрастающую роль нанотехнологий в мировом научно-техническом прогрессе, в 2000 году конгресс США была одобрил крупную государственную (межведомственную) программу «Инициатива в области нанотехнологий – *National Nanotechnology Initiative*» (NNI). Данной государственной программой был запланирован комплекс исследований и разработок (*Research & Development*) на период 2001–2008 финансовых годов. Ежегодные объемы финансирования работ представлены на рис. П.2 (2 этапа программы: 2001–2004 финансовые годы и 2005–2008 финансовые годы). Государственная программа NNI объединяет работы 15 министерств и ведомств (агентств). Из них 10 государственных структур имеют целевое бюджетное финансирование на проведение исследований и разработок в рамках NNI.

Общий объем ассигнований, выделенных на реализацию I этапа программы NNI (2001–2004 финансовые годы) составил 2 779,7 млн - долл., из них в интересах МО США было израсходовано ~ 812,0 млн - долл. (~ 29 %). Распределение объемов ассигнований, выделенных на проведение исследований и разработок в рамках I этапа программы NNI, представлено на рис. П.3. Запланированные бюджетные расходы на реализацию II этапа программы составляют ~ 4 616,0 млн долл., что в 1,7 раза превышает объемы финасирования I этапа.



Рис. П.2. Объемы финансирования программы NNI

Примечание. В конце 2003 года Конгрессом и президентом США была одобрена программа финансирования исследований и разработок в области нанотехнологий («US 21 st Century Nanotechnology Research and Development Act») на период 2004-2008 финансовых годов. Было определено, что Министерство обороны осуществляет финансирование исследований и разработок в области нанонауки и нанотехнологий в рамках своего бюджета НИОКР, а Министерство здравоохранения проводит свой комплекс работ в рамках отдельной целевой программы (в соответствии с NIH Roadmap).

Основными задачами исследований и разработок в рамках II этапа программы NNI являются (*National Nanotechnology Initiative – Strategic Plan*, December 2004):

Задача № 1. Реализация программы мирового класса, направленной на максимально полное использование потенциала, имеющегося в области нанотехнологий.

В программе NNI выделяют следующие категории проектов исследований и разработок:

- ведомственные исследования и разработки, проводимые по заказам одного заказчика (министерства или агентства);
- межведомственные исследования и разработки, проводимые в рамках сформированной кооперации заказчиков (*Nanoscale Interdisciplinary Research Teams*). Доля таких работ составляет ~ 20 % от общего объема финансирования программы NNI;
- междисциплинарные исследования и разработки, проводимые силами специализированных государственных научно-исследовательских организаций (институтов, центров и лабораторий).

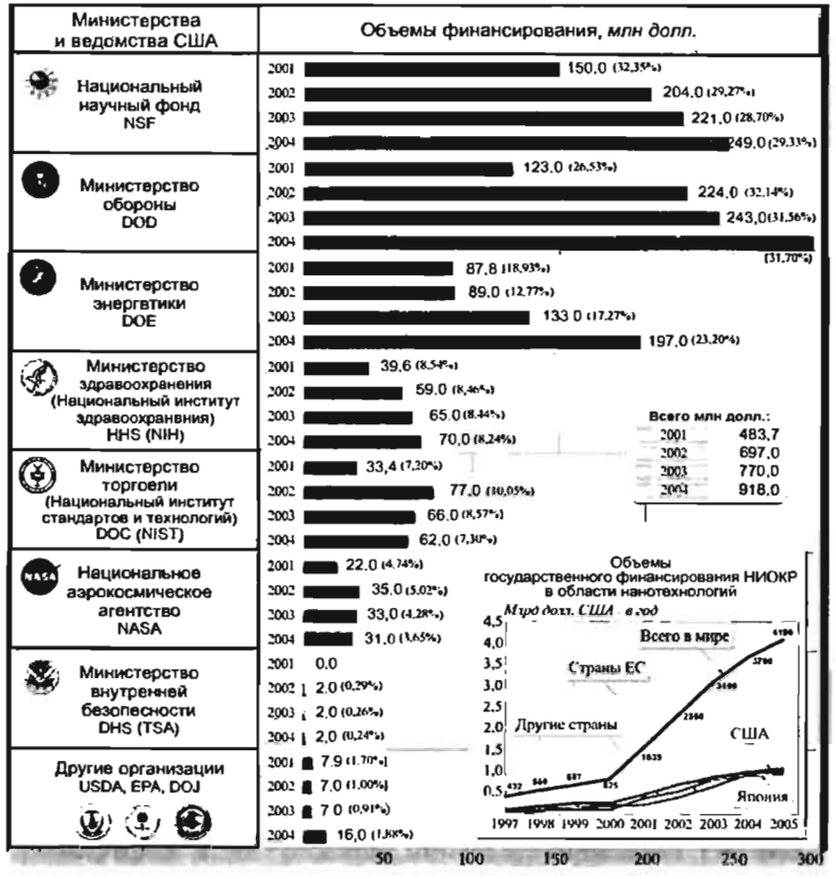


Рис. П.3. Распределение объемов финансирования I этапа программы NNI по основным заказчикам исследований и разработок

Задача № 2. Содействие эффективному внедрению новых нанотехнологий во все сферы экономики.

Задача № 3. Развитие системы образования в сфере нанотехнологий, подготовка высококвалифицированных кадров и расширение производственной инфраструктуры.

Задача № 4. Поддержка наиболее важных (экономически оправданных) разработок в области нанотехнологий.

В интересах решения поставленных задач выделено 7 следующих научно-технологических направлений исследований и разработок (*Program Component Areas* – PCAs):

1. Фундаментальные исследования в области наномасштабных явлений и процессов.
2. Наноматериалы.
3. Наноразмерные устройства и приборы.
4. Научно-экспериментальная база, метрология и стандарты в области нанотехнологий.
5. Процессы производства наноматериалов, наноразмерных устройств и приборов.
6. Приобретение инструментов и приборов, развитие лабораторной базы в специализированных государственных научно-исследовательских учреждениях.
7. Социальные аспекты развития нанотехнологий.

Взаимосвязь между задачами и научно-технологическими направлениям работ представлена в табл. П.1.

Табл. П.1. Взаимосвязь программных задач NNI и научно-технологических направлений работ

Научно-технологические направления NNI	**Программные задачи NNI**			
	Задача № 1	***Задача № 2***	***Задача № 3***	***Задача № 4***
Фундаментальные исследования в области наномасштабных явлений и процессов	Критическая важность	Вторичная важность	Первичная важность	Вторичная важность
Наноматериалы	Критическая важность	Вторичная важность	Вторичная важность	Вторичная важность
Наноразмерные устройства и приборы	Первичная важность	Критическая важность	Вторичная важность	Вторичная важность
Развитие научно-экспериментальной базы, метрология и стандарты в области нанотехнологий	Вторичная важность	Критическая важность	Вторичная важность	Вторичная важность

Табл. П.1. *Окончание*

Научно-технологические направления NNI	Программные задачи NNI			
	Задача № 1	*Задача № 2*	*Задача № 3*	*Задача № 4*
Процессы производства наноматериалов, наноразмерных устройств и приборов	Вторичная важность	Критическая важность	Первичная важность	Первичная важность
Приобретение инструментов и приборов, развитие лабораторной базы в специализированных государственных научно-исследовательских учреждениях	Первичная важность	Первичная важность	Критическая важность	Вторичная важность
Социальные аспекты развития нанотехнологий	Вторичная важность	Вторичная важность	Первичная важность	Критическая важность

На период до 2008 года основными заказчиками исследований и разработок в области нанонауки и нанотехнологий являются (рис. П.4.):

1. Национальный научный фонд (National Science Foundation – NSF). На период 2005–2008 финансовых годов запланированный в рамках NNI объем финансирования составляет ~ 1,654 млрд. долл.
2. Министерство обороны (*Department of Defense* – DOD). Запланированный на период 2005-2008 финансовых годов объем финансирования исследований и разработок в области нанонауки и нанотехнологий составляет ~ 1,044 млрд долл. Начиная с 2004 финсового года объемы финансирования нанотехнологических работ военного ведомства определяются в рамках собственного бюджета НИОКР (вне программы NNI).
3. Министерство энергетики (*Department of Energy* – DOE). В рамках II этапа NNI запланировано выделение ассигнований в размере ~ 1,442 млрд. долл.

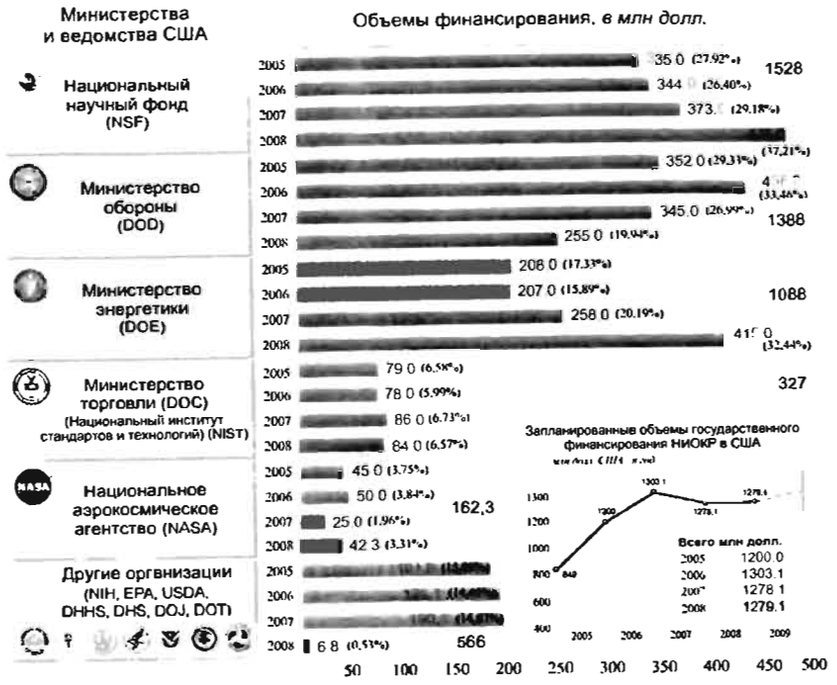


Рис. П 4. Распределение запланированных объемов финансирования исследований и разработок в области нанотехнологий

4. Министерство здравоохранения. Работы координирует и заказывает Национальный институт здравоохранения (*National Institutes of Health* – NIH). Объемы финансирования определяются отраслевой программой работ в области нанотехнологий.
5. Национальное аэрокосмическое агентство (*National Aeronautics and Space Administration* – NASA). Планом II этапа NNI предусмотрено выделение ассигнований в размере ~ 154, 8 млн долл.
6. Министерство торговли. Работы координирует и заказывает Национальный институт стандартов и технологий (National Institute of Standards and Technology – NIST). На период 2005–2008 финансовых годов запланированный в рамках NNI объем финансирования составляет ~ 297 млн долл.
7. Министерство внутренней безопасности (Department of Homeland Security – DHS).

Надо отметить, что в США принято различать понятия «нанонаука» (*nanoscience*) и «нанотехнология» (*nanotechnology*). Нанонаука, объединяя в себе наноэлектронику, наномеханику, наноматериалы и основываясь на достижениях в различных областях естественных наук (прежде всего в таких областях, как физика, химия, биология, математика и информатика), обеспечивает появление и развитие нанотехнологий. Бюджетное финансирование исследований в области нанонауки осуществляется в рамках бюджетной категории «фундаментальные исследования» (*basic research*).

На период 2001–2006 финансовых годов основная часть фундаментальных исследований Министерства обороны США (МО США) в области нанонауки сконцентрирована в программе «Оборонные исследования университетов в области нанотехнологии» – *Defense University Research Initiative on NanoTechnology* (DURINT). Данная программа является составной частью программы «Междисциплинарные исследования в системе высшего образования» (MURI) (входит в бюджетную программу «Университетские исследования» – *University Research Initiative* (URI)). Объем финансирования URI в 2005 финансовом году – 294,254 млн долл. (Проекты 0601103A, 0601103N, 0601103F). В рамках DURINT выделено 15 научно-технических направлений исследований:

1. Наноразмерные машины и двигатели. Координатор работ: Отдел научных исследований Армии США (*Army Research Office* – ARO). Головной исполнитель: *University of Colorado.*
2. Молекулярное управление процессами формирования наноэлектронных и наномагнитных структур. Молекулярные ансамбли (*molecular assemblies*, *selfaggregated systems*), единичные молекулы – «функциональные» молекулы (*smart molecules*), наноразмерные молекулярные стержни и проволоки (*molecular rods and wires*). Координатор работ: Отдел научных исследований Армии США. Головной исполнитель: *University of Washington.*
3. Наноматериалы и наноконструкции для источников энергии (наноразмерные элементы и системы для источников и преобразователей энергии). Координатор работ: Отдел научных исследований Армии США. Головной исполнитель: *University of Washington.*
4. Методы оценки свойств и характеристик наноразмерных элементов, устройств и систем (методы комплексного диагностирования свойств наноструктур). Координатор работ: Отдел научных исследований Армии США. Головной исполнитель: *Stevens Institute of Technology.*

5. Научные основы технологий производства углеродных нанотрубок. Координатор работ: Отдел научных исследований ВМС США (*Office Naval Research* – ONR). Головной исполнитель: *Rice University.*
6. Наноразмерные электронные устройства и архитектура их построения. Координатор работ: Отдел научных исследований ВМС США (ONR). Головной исполнитель: *Princeton University.*
7. Структуры с туннельно-прозрачными барьерами (системы квантовых ям и сверхрешетки), квантовые проволоки. Процессы формирования гетероструктур для элементной базы наноэлектроники. Координатор работ: Отдел научных исследований ВМС США. Головной исполнитель: *Carnegie Mellon University.*
8. Деформация, повреждения и разрушения в наноструктурах (нанотрубках, нанопластинах и нановолоконах). Координатор работ: Отдел научных исследований ВМС США. Головной исполнитель: *Massachussetts Institute of Technology.*
9. Наноструктуры – катализаторы химических реакций. Координатор работ: Отдел научных исследований ВВС США (*Air Force Office Science Research* – AFOSR). Головной исполнитель: *University of California at Santa Barbara.*
10. Полимерные нанокомпозиты (высокотемпературные и высокопрочные) для летательных аппаратов (КА, авиационная техника, КР, УР и гиперскоростные ЛА). Координатор работ: Отдел научных исследований ВВС США. Головной исполнитель: *Massachussetts Institute of Technology.*
11. Органические материалы для наноразмерной электроники и оптоэлектроники. Координатор работ: Отдел научных исследований ВВС США. Головной исполнитель: *State University of New York at Buffalo.*
12. Квантовые вычисления и устройства, реализующие механизмы квантовых вычислений (приборы на квантовых эффектах). Координатор работ: Отдел научных исследований ВВС США. Головные исполнители: *Massachussetts Institute of Technology* и *State University of New York at Stony Brook.*
13. Биомолекулярные системы (преобразователи сигналов, чувствительные элементы датчиков) на основе. Координаторы работ: Отдел оборонных наук Управления перспективных исследований и разработок МО США (DSO DARPA) и Отдел научных исследований ВВС США (AFOSR). Головной исполнитель: *Northwestern University.*
14. Синтез и модификация наноструктурных поверхностей. Координи-

наторы работ: Отдел оборонных наук Управления перспективных исследований и разработок МО США (DSO DARPA) и Отдел научных исследований ВВС США (AFOSR). Головной исполнитель: *University of Southern California.*

15. Магнитные наноструктуры и наночастицы для применения в биотехнологиях. Координаторы работ: Отдел оборонных наук Управления перспективных исследований и разработок МО США (DSO DARPA) и Отдел научных исследований ВМС США (ONR). Головной исполнитель: *Harvard University.*

Следует заметить, что координаторы научных направлений программ не всегда являются основными заказчиками этих работ. Распределение объемов финансирования исследований (фундаментальных и прикладных) и разработок МО США (статьи бюджета 6.1–6.3.) в области нанонауки и нанотехнологий показано на рис. П.5.

Примечание. Фундаментальные исследования в области нанонауки по заказам Управления перспективных исследований и разработок МО США (DARPA) объединяются в рамках программы «Defense Research Sciences» (бюджетный проект № 0601101E, работы координирует Отдел оборонных наук (DSO) DARPA).

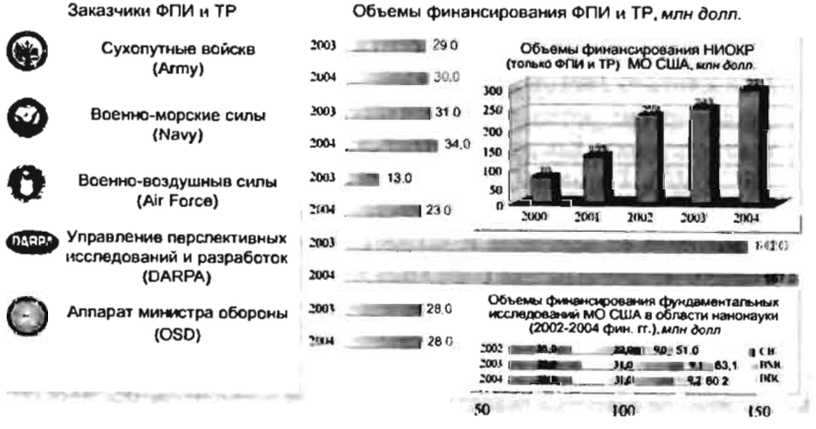


Рис. П.5. Распределение объемов финансирования фундаментальных и прикладных исследований и технологических разработок (ФПИ и ТР) МО США в области нанонауки и нанотехнологий по заказчикам работ

Историческая справка

Создание в России национальной программы по нанотехнологии растянулось уже на 5 лет. Первые сводные предложения для программы, подготовленные рабочей группой во главе с нобелевским лауреатом академиком Ж.И. Алферовым, были обсуждены на заседании Межфракционного депутатского объединения «Наука и высокие технологии» Государственной Думы Российской Федерации на тему: «Нанотехнологии – проблемы развития и подготовки кадров» 26 октября 2004 года [1]. Рабочей группой под руководством генерал-лейтенанта С.М. Алфимова был подготовлен проект «Концепции развития в Российской Федерации работ в области нанотехнологий на период до 2010 года», который одобрен в основном Правительством Российской Федерации 18 ноября 2004 года [2]. В рамках комплексной программы «Национальная технологическая база» (2005 – 2006 годы) проводятся работы по созданию наноматериалов и нанотехнологий, перечень которых подготовленный рабочей группой под руководством академика М.В. Алфимова

[1] Наноматериалы и нанотехнологии. Алферов Ж.И., Асеев А.Л., Гапонов С.В., Копьев П.С. и др. / Микросистемная техника. 2003. № 8. С. 3-13.
[2] Развитие в России работ в области нанотехнологий. Алфимов С.М., Быков В.А., Гребенников Е.П., Желудева С.И. и др. / Микросистемная техника, 2004, №8. С. 2–8.

Российская программа по развитию нанотехнологии практически принята (доклад министра Минобрнауки России А.А. Фурсенко на заседании Правительства Российской Федерации 7 сентября 2006 г.).

Главный редактор журнала «Нано- и микросистемная техника», доктор технических наук, профессор Петр Мальцев
http://www.microsystems.ru

Заявки на книги присылайте по адресу:
125319 Москва, а/я 594
Издательство «Техносфера»
e-mail: knigi@technosphera.ru
sales@technosphera.ru
факс: (495) 956 33 46

В заявке обязательно указывайте
свой почтовый адрес!

Подробная информация о книгах на сайте
http://www.technosphera.ru

Альтман Юрген
Военные нанотехнологии
Возможности применения
и превентивного контроля вооружений

Компьютерная верстка – М.В. Алексеева
Дизайн – И.А. Куколева
Дизайн книжных серий – С.Ю. Биричев
Выпускающий редактор – О.Н. Кулешова
Ответственный за выпуск – С.В. Зинюк

Формат 60x90/16. Печать офсетная.
Гарнитура Ньютон
Печ.л 26,5. Тираж 3000 экз. (1-й завод 1500 экз.) Зак. № 1483.
Бумага офсет №1, плотность 65г/м^2

Издательство «Техносфера»
Москва, Лубянский проезд, дом 27/1

Диапозитивы изготовлены ООО «Европолиграфик»

Отпечатано в ООО «Чебоксарская типография №1»,
428019 г. Чебоксары, пр. И. Яковлева, 15