



МИР материалов и технологий

Ю. АЛЬТМАН

Военные нанотехнологии Возможности применения и превентивного контроля вооружений

Перевод с английского

А.В. Хачояна

Под редакцией

Р.А. Андриевского

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 "Микро-системная техника" направления подготовки 210100 "Электроника и микроэлектроника"

ТЕХНОСФЕРА

Москва

2016

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

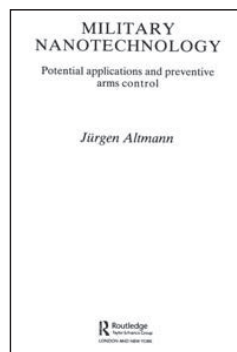
Возможности применения и превентивного контроля вооружений

Издание 2-е, дополненное и исправленное.

Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2016. – 424с. ISBN 978-5-94836-175-8

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

© 2008, ЗАО «РИЦ «ТЕХНОСФЕРА», перевод на русский язык

© 2016, АО «РИЦ «ТЕХНОСФЕРА», оригинал-макет, оформление, дополнение

ISBN 978-5-94836-175-8

ISBN 0-415-37102-3 (англ.)

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. Джеремиа (1995 год)	40
1.5.3. Сценарий М. Габрада (1997 год)	40



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ТЕХНОСФЕРА» ПРЕДСТАВЛЯЕТ КНИГИ:



Цена 350 руб.

**DARPA и наука Третьего рейха:
оборонные исследования США
и Германии /Под общ. ред. А.Е. Суворова**
Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2015. – 208 с.
ISBN 978-5-94836- 392-9

*Издание осуществлено при поддержке
АНО « Институт стратегий развития »*

В книге представлены материалы, содержащие анализ, обобщение и систематизацию опыта США и Германии, накопленного при организации, планировании, финансировании и проведении оборонных исследований. Выбор этих стран неслучаен и определен наличием существенных различий в процессах формирования и функционирования систем обеспечения вооруженных сил новейшими образцами оружия и военной техники. В целом монография дает представления о функционировании системы оборонных исследований в США, а также опыте Германии в сфере управления НИОКР.

Материалы книги будут полезны широкому кругу специалистов, участвующих в процессах разработки и выполнения как государственного оборонного заказа и государственной программы вооружения, так и других государственных, федеральных целевых программ, имеющих оборонную направленность. Также книга может представлять интерес для руководителей государственных органов законодательной и исполнительной власти, работников промышленных предприятий, научных сотрудников академий наук и преподавателей учреждений высшей школы, изучающих организационные принципы и подходы к планированию крупных научно-технических проектов.

ИНФОРМАЦИЯ О НОВИНКАХ:
www.technosphere.ru



Как заказать наши книги?
По почте: 125319 Москва, а/я 91
По факсу: (495) 9563346
E-mail: sales@technosphere.ru

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
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



**ИЗДАТЕЛЬСТВО «ТЕХНОСФЕРА»
ПРЕДСТАВЛЯЕТ КНИГИ:**



Цена 840 руб.

**Рэнди У. Биард, Тимоти У. МакЛэйн
МАЛЫЕ БЕСПИЛОТНЫЕ
ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ:
ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА**

*Издание осуществлено при поддержке
ОАО «НПП «Радар ммс»*

**Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2015. – 312 с.
ISBN 978-5-94836-393-6**

Это издание посвящено управлению беспилотными летательными аппаратами (БЛА). Акцент в книге делается на системы повышения устойчивости управления. Других изданий, которые бы охватывали вопросы моделирования динамики летательных аппаратов, разработки автопилотов (решающих задачи «низкого уровня»), оценки состояния БЛА, а также расчета траектории полета (задачи «высокого уровня»), в настоящее время нет.

Целевой аудиторией являются студенты, которые прошли подготовку в области электротехники, компьютерной техники, машиностроения и информатики и прослушали вводный курс по системам управления с обратной связью или робототехнике. Также книга будет интересна инженерам в области авионавтики, которые заинтересованы во вводном курсе в автономные системы.

**ИНФОРМАЦИЯ О НОВИНКАХ:
www.technosphere.ru**



**Как заказать наши книги?
По почте: 125319 Москва, а/я 91
По факсу: (495) 9563346
E-mail: sales@technosphere.ru**

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
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



КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА» МОЖНО ПРИОБРЕСТИ:

В магазинах:

г. Москва

Торговый дом «Библио-Глобус»,
ст. м. Лубянка, ул. Мясницкая, 6
тел. 8(495) 781-19-00, 624-46-80

«Московский дом книги», ст. м. Арбат-
ская, ул. Новый Арбат, 8
тел. 8(495) 789-35-91

«Дом книги на Спартаковской»,
ст. м. Бауманская, ул. Спартаковская, 23
тел. 8(499) 400-41-06

«Дом книги на Соколе»,
Ленинградский пр., 78 к.1
тел. (499)152-63-81

«Молодая гвардия», ст.м. Полянка,
ул. Б. Полянка 28
тел. 8(499) 238-50-01

«Дом технической книги»,
ст. м. Ленинский проспект,
Ленинский проспект, 40
тел. 8(499) 137-60-38

«Дом медицинской книги»,
Комсомольский проспект, 25
тел. 8(495) 789-35-91, (495)789-31-14

Книжный магазин «Циолковский»,
ст. м. Арбатская,
ул. Большая Молчановка, 18
тел. (495) 691-51-16, (495)691-56-28

- **наложенным платежом**
(заказы принимаются по e-mail, по почте)
- **по безналичному расчёту**
(заказы принимаются по e-mail, по факсу
с указанием полных реквизитов юридического лица)



ИНФОРМАЦИЯ О НОВИНКАХ:
www.technosphaera.ru

Как заказать наши книги?
По почте: 125319 Москва, а/я 91
По факсу: (495) 9563346
E-mail: sales@technosphaera.ru

3.3. Комментарии к общей картине финансирования ННПКР 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 микророботы	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



КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА» МОЖНО ПРИОБРЕСТИ:

В магазинах:

г. Санкт-Петербург

«Санкт-Петербургский дом книги», (Дом Зингера)
Невский пр., 28

Книготорговая сеть «Академическая литература»
тел. (812) 329-10-29

г. Екатеринбург

сеть магазинов «Дом книги»
<http://www.domknigi-online.ru>
«Екатеринбургский дом книги»
тел. (343) 253-50-10

ИКГ «Фолиант», пр. Ленина, 101
Тел. (343) 374-45-33

г. Новосибирск

ИП Костин
ООО «Книги Сибири»
тел. (383) 335-61-63

Книжный магазин «Консул»
ул. Разъездная, 16
тел. (383) 217-45-40

— **наложенным платежом**
(заказы принимаются по e-mail, по почте)

— **по безналичному расчёту**
(заказы принимаются по e-mail, по факсу
с указанием полных реквизитов юридического лица)

г. Омск

«Техническая книга», ул. Пушкина, 101
тел. (3812) 30-13-64

г. Ростов-на-Дону

сеть магазинов «Магистр»
<http://www.booka.ru>
Книжный магазин «Деловая литература»,
ул. Серафимовича, 53 Б
тел. (863) 240-48-89

г. Череповец

ООО «Книга Поиск», ул. Ленина,
104 а, оф. 41

Ближнее зарубежье:

г. Минск

ИП Юзвук Наталья Николаевна
тел. 375-17-294-54-65

г. Харьков

Гуманитарный центр «Литера Нова»
тел. 057-731-41-69

ИНФОРМАЦИЯ О НОВИНКАХ:
www.technosphaera.ru



Как заказать наши книги?

По почте: 125319 Москва, а/я 91

По факсу: (495) 9563346

E-mail: sales@technosphaera.ru

4.1.22. Защита от химического и биологического оружия	205
4.2. Краткий обзор описанных военных приложений нанотехнологии.....	207
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
--	-----

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
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 für 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 à l'Énergie 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	Délégation Générale pour l'Armement (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, Abrüstung 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 für 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-Abschätzung 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, Abrüstung 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-

нии 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. Алтмана) 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 ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$, 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 нанoinструментов, 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 систем². 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 военнотехническими 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 военнотехническим 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 ($1 \text{ фм} = 10^{-15} \text{ м} = 10^{-6} \text{ нм}$), 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 возмож-

ность 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 геномной 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 нанокomпозитных 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 nanoоружия, 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 упомина-

ются 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 ЕТС [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 научно-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 наноассемблеров⁸. 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 символические 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 изменениям¹¹. 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 наномашинки 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 ав-

томатических 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 нанооружия 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. Джеремиа (1995 год)

Выступая на проводимой Институтом прогнозов IV Конференции по молекулярной нанотехнологии (1995 г.), отставной адмирал Дэвид Д. Джеремиа (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, Джеремиа 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 позволяют 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, поскольку

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 робо-