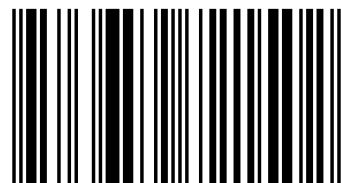


## Конвергенция знаний, технологий и общества

Нанотехнологии, биотехнологии, информационные технологии, когнитивные и социо-гуманитарные технологии (NBICS) играют фундаментальную роль в изменении современных мировоззренческих и парадигмальных установок, которые совместно формируют общую CKTS (или STS)-платформу - конвергенцию знаний, технологий и общества. Это требует создания новой философии образования для подготовки нового поколения ученых и инженеров, способных реализовать NBICS- и CKTS-перспективы, что представляет собой мощный стимул для развития конвергенции. Развивающийся на наших глазах NBICS-феномен представляет собой радикально новый этап научно-технического прогресса, знаменует начало междисциплинарных преобразований, когда эволюция человека перейдет под его собственный разумный контроль. Научная картина мира требует возвращения к натурфилософии, органично включающей в себя естественные и гуманитарные науки. И необходимым инструментом для решения данной задачи являются конвергентные NBICS-технологии, ведущие к единству науки. Конвергентные технологии открывают огромные потенциальные возможности и перспективы для человечества, но они же могут оказаться и ящиком Пандоры. Все эти проблемы предстоит решать в XXI в.



Доктор философских наук, профессор, профессор РАН, ведущий научный сотрудник НИЦ "Курчатовский институт", РНИМУ им. Н.И. Пирогова, ИФ РАН. Автор более 350 научных трудов, в том числе 18 монографий. Область научных интересов: когнитивная наука и когнитивные дисциплины, методология и философия науки, конвергентные и социо-гуманитарные технологии.



978-3-659-72150-2

ПАРАДИГМА NBICS-КОНВЕРГЕНЦИИ



Олег Баксанский

## Конвергенция знаний, технологий и общества

Стратегические цели NBICS-конвергенции

Баксанский

  
**Palmarium**  
academic publishing

**Олег Баксанский**

**Конвергенция знаний, технологий и общества**



**Олег Баксанский**

# **Конвергенция знаний, технологий и общества**

**Стратегические цели NBICS-конвергенции**

**Palmarium Academic Publishing**

## **Impressum / Выходные данные**

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Alle in diesem Buch genannten Marken und Produktnamen unterliegen warenzeichen-, marken- oder patentrechtlichem Schutz bzw. sind Warenzeichen oder eingetragene Warenzeichen der jeweiligen Inhaber. Die Wiedergabe von Marken, Produktnamen, Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen u.s.w. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Библиографическая информация, изданная Немецкой Национальной Библиотекой. Немецкая Национальная Библиотека включает данную публикацию в Немецкий Книжный Каталог; с подробными библиографическими данными можно ознакомиться в Интернете по адресу <http://dnb.d-nb.de>.

Любые названия марок и брендов, упомянутые в этой книге, принадлежат торговой марке, бренду или запатентованы и являются брендами соответствующих правообладателей. Использование названий брендов, названий товаров, торговых марок, описаний товаров, общих имён, и т.д. даже без точного упоминания в этой работе не является основанием того, что данные названия можно считать незарегистрированными под каким-либо брендом и не защищены законом о брендах и их можно использовать всем без ограничений.

Coverbild / Изображение на обложке предоставлено: [www.ingimage.com](http://www.ingimage.com)

Verlag / Издатель:

Palmarium Academic Publishing

ist ein Imprint der / является торговой маркой

OmniScriptum GmbH & Co. KG

Bahnhofstraße 28, 66111 Saarbrücken, Deutschland / Германия

Email / электронная почта: [info@palmarium-publishing.ru](mailto:info@palmarium-publishing.ru)

Herstellung: siehe letzte Seite /

Напечатано: см. последнюю страницу

**ISBN: 978-3-659-72150-2**

Copyright / АВТОРСКОЕ ПРАВО © 2016 OmniScriptum GmbH & Co. KG

Alle Rechte vorbehalten. / Все права защищены. Saarbrücken 2016

## Предисловие.

С нашей точки зрения, знакомство с темами, определяющими исследовательскую деятельность ученых, философское осмысление их идей имеет принципиальное значение, позволяющее понять суть научного познания, почувствовать живое биение научной мысли, еще не оформленное в «классические» формулировки учебников и энциклопедий. Это особенно важно для аспирантов и студентов, которые ищут собственные исследовательские области, пытаются определиться с теми научными интересами, которым, возможно, посвятят впоследствии годы собственной жизни.

Кроме того, классическое знание, оформленное в традиции и имеющее общепринятые представления, является полем деятельности философов, которые стремятся ответить на извечные философские вопросы:

- Что есть мир?
- Что есть истина?
- Познаваем ли мир?
- Что такое познание?
- Что такое наука?
- Существуют ли пределы познания? и т.п.

Структура настоящей книги отражает наиболее актуальные на сегодняшний день исследовательские и методологические направления, определяющие проблемное поле современной науки, и состоит из трех частей:

1. Конвергентные технологии, нанотехнологии.
2. Современные проблемы биомедицины.
3. Проблемы современного образования.

Первый раздел книги посвящен философскому осмыслению конвергентных технологий, которые являют собой передний край современной науки – манипулирование атомами, фактически игра в атомарный (и молекулярный) конструктор. То, на что Природе потребовались миллиарды лет, современная геновая инженерия в состоянии реализовать в течение нескольких месяцев. Но здесь необходимо акцентировать внимание на том, чтобы эйфория достижений не затмила суровые будни реальности.

Термин «конвергентные технологии» (Converging – англ. «сходящиеся», «собирающиеся вместе»), «объединенные общими интересами» - Technologies) в современных исследованиях в области инновационной экономики, менеджмента, социологии и культуры появился сравнительно недавно (в середине 90-ых годов XX века) и связан в первую очередь с работами Мануэля Кастельса. Выделяя особенности новой информационно-технологической парадигмы, которые вместе обуславливают ее всеохватность, составляя фундамент информационного общества, Кастельс в качестве одной из ключевых ее характеристик называет растущую «конвергенцию конкретных технологий в высокоинтегрированной системе, в которой старые, изолированные технологические траектории становятся буквально неразличимыми»<sup>1</sup>.

Более конкретный смысл этот термин получил после публикации в июне 2002 года в США работ по гранту NSF, озаглавленного «Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information technology and Cognitive science» (M. Roco, W. Bainbridge). В этом контексте конвергентные технологии определяются через указание на явление так называемой *NBIC-конвергенции* (по первым буквам предметных областей: N – «нано»; B – «био»; I – «инфо»; C – «когно»). Для понимания их сути необходимо целостное рассмотрение нанонауки и нанотехнологий в рамках общего процесса становления конвергентных технологий. В данном случае имеется в виду процесс становления связанного кластера информационных технологий, биотехнологий, нанотехнологий и когнитивной науки. *NBIC-конвергенция* - процесс, в котором нанотехнологии играют роль своеобразного катализатора.

<sup>1</sup> Кастельс Э. Информационная эпоха. Экономика, общество и культура. М., 2000, с.78.

В этом контексте следует обратить внимание, по крайней мере, на три взаимосвязанных и важных момента, отличающих NBIC-концепцию конвергентных технологий.

Во-первых, она исходит из синергетического взаимодействия входящих в ее состав кластеров научно-технологической деятельности.

Во-вторых, в рамках этой концепции особое место занимают нанотехнологии, играющие роль катализатора процесса NBIC-конвергенции. Как отмечает один из главных архитекторов американской политики в области нанотехнологий Майкл Роко, «самые разные области деятельности, казавшиеся ранее далекими и разделенными, с появлением нанотехнологий стали неожиданно «переплетаться», воздействовать друг на друга и проявлять синергизм, то есть отчетливую тенденцию к слиянию с биологическими и информационными технологиями и подходами, что уже привело к серьезной научной концепции о конвергенции ряда научных дисциплин»<sup>2</sup>.

И, наконец, в-третьих, NBIC-концепция конвергентных технологий в принципе открыта для процесса интеграции с системотехникой, теорией сложных систем и, далее, - с гуманитарным знанием в его междисциплинарном измерении:

- социологией,
- лингвистикой,
- антропологией,
- медициной,
- философией науки и техники,
- информационной экономикой,
- этикой социально ответственности.

Подобная интеграция в итоге трансформирует эту концепцию в особого рода трансдисциплинарный коммуникативный символ «для обозначения еще не познанных взаимодействий между этими науками и связанными с ними технологиями»<sup>3</sup>

Этот список междисциплинарных и трансдисциплинарных измерений контекста NBIC-концепции можно продолжить. Но важно подчеркнуть: концепция конвергентных технологий в широком смысле – это, в социогуманитарном контексте, концепция грядущей трансформации человека, общества и цивилизации. И эта трансформация несет в себе не только большие надежды на решение глобальных проблем, но и не менее большие риски потери человечеством траектории устойчивой социокультурной эволюции.

Таким образом, возникает проблема управления инициированной процессом конвергентных технологий грядущей реакцией инноваций; проблема прогнозирования и оценки социокультурных последствий (не только позитивных, но и негативных рисков) уже начавшегося процесса становления конвергентных технологий, как критических трансформативных технологий. Эта проблема в качестве междисциплинарной, в свою очередь, непосредственно завязана на проблемы качества жизни, развития новой экономики знания, менеджмента и адекватной этим задачам модернизации образования.

Итак, конвергентные технологии задают новую стратегию развития цивилизации и в этом качестве нуждаются во всестороннем осмыслении в широком смысле этого слова. При этом внимание следует сосредоточить на возникающие в контексте NBIC-процесса экономические, образовательные, управленческие, правовые и этико-экологические аспекты. Именно такой подход характерен для европейского взгляда на NBIC–модель конвергентных технологий.

Существенно, что данная задача может быть реализована в форме практической совместной деятельности, ибо только такая форма наиболее адекватна интегративной методологии становления конвергентных технологий, как процесса внутренне сопряженного с глубокой гуманностью<sup>4</sup>.

<sup>2</sup> Роко М. Конвергенция и интеграция.//Фостер Л. Нанотехнологии. Наука, инновации и возможности. М., 2008, с.285.

<sup>3</sup> Ibid, с.286.

<sup>4</sup> Нейсбит Дж. Высокая технология, глубокая гуманность: технологии и наши поиски смысла. М., 2005.

Таким образом, в «когнитивной карте» реализации NBIC-концепции конвергентных технологий можно выделить следующие основные направления:

1. В области образования в сфере конвергентных технологий осуществляется разработка моделей новых образовательных практик, ориентированных на те интегративные, междисциплинарные тенденции, которые были инициированы их становлением.

2. В области менеджмента осуществляется партнерская разработка принципиально нового класса моделей трансформации научных достижений в коммерческие проекты.

3. В сфере междисциплинарного взаимодействия с академической наукой и коммерческими структурами осуществляется разработка методологии управления инновациями, построения когнитивных карт развития конвергентных технологий в их воздействии на общество, культуру, экономику и окружающую среду.

4. В сфере философии осуществляется исследование воздействия глубинных смыслов культуры на становление инновационной экономики, в особенности на запуск конвергентных технологий и трансформацию социума в высокоразвитое общество, основанное на знаниях.

Философские концепции образования, сосуществующие, конкурирующие и сменяющие друг друга, базируются на определенных **когнитивных паттернах образования**. Когнитивный паттерн — это совокупность совместных взаимно-сопряженных отношений между различными объектами, явлениями, свойствами и процессами окружающего мира<sup>5</sup>. Иными словами, когнитивные паттерны — это модели познания действительности, и, в более широком смысле, модели знания и мышления, некий набор правил и критериев<sup>6</sup>.

Когнитивные паттерны образования представляют собой базовые интуитивные репрезентации (образы), которые задают специфическое видение образовательной действительности, яв-

---

<sup>5</sup> Баксанский О.Е. Когнитивные репрезентации: обыденные, социальные, научные. М., 2008.

<sup>6</sup> Когнитивные паттерны представляют собой наиболее существенные элементы мышления и поведения, приводящие, как правило, к конкретной реакции или результату. Поэтому важным моментом для понимания последних является идентификация соответствующих паттернов в целях определения наиболее важных этапов когнитивных стратегий и ту роль, которую каждый из них играет в когнитивных репрезентациях. Существует множество подходов к решению указанной задачи, например, модель ROLE, базирующаяся на следующих четырех факторах, из начальных букв (английских) названий которых и состоит аббревиатура модели ROLE — *Репрезентативные системы (Representational Systems); Ориентация (Orientation); Связи (Links); Эффекты (Effects)*.

*Репрезентативные системы (R)* подразумевают, какие из пяти чувств доминируют на каждом конкретном мыслительном этапе стратегии: Зрение (Visual), Слух (Auditory), Кинестетика (Kinesthetic), Обоняние (Olfactory), Вкус (Gustatory). Каждая репрезентативная система воспринимает некоторые основные качества ощущаемых ею сенсорных опытов. К ним относятся такие характеристики, как *цвет, яркость, тон, громкость, температура, давление* и т.д. В НЛП данные качества называются «субмодальностями», они являются компонентами каждой из репрезентативных систем.

*Ориентация (O)* определяет, направлена ли данная сенсорная репрезентация вовне, то есть на внешний мир, или вовнутрь — на запечатленные или «сконструированные» сенсорные опыты. Например, когда вы видите нечто, вы можете определить для себя, где оно находится: во внешнем мире, в вашей памяти или в воображении?

*Связи (L)* определяют то, как конкретный шаг, или сенсорная репрезентация, связаны с другими репрезентациями. Например, наблюдается ли во внешнем окружении что-либо связанное с внутренними ощущениями, визуальными воспоминаниями или словами? Связано ли какое-нибудь конкретное чувство со сконструированными образами, аудиальными воспоминаниями или другими чувствами?

Существует два основных способа связывать репрезентации между собой — последовательный и параллельный. Последовательные связи выступают в роли *якорей* или «триггеров» — то есть одна репрезентация следует за другой в непрерывной линейной последовательности событий.

Параллельные связи присутствуют в так называемых *синестезиях*. При синестезии репрезентации как бы накладываются друг на друга. Некоторые оттенки ощущений могут быть соединены с фрагментами воображаемых качеств — например, можно визуализировать оттенок звука или «услышать» цвет. Конечно, оба вида связи присущи процессу мышления, обучения, творчества и организации нашего опыта в целом.

*Эффект (E)* сводится к результату или цели каждого отдельно взятого этапа мыслительного процесса. Например, функция отдельного этапа может заключаться в генерировании или введении сенсорной репрезентации; проверке или оценке конкретной сенсорной репрезентации; изменении какой-либо части опыта или поведения для достижения цели.

Более подробно эти вопросы рассмотрены как в указанной в предыдущей сноске книге, так и в работе: Баксанский О.Е., Кучер Е.Н. Когнитивные науки: от познания к действию, М., 2005.



ляются точкой отсчета в анализе образовательных процессов. Их можно представить как два полюса характеристики образования:

- репрезентация «о процессах и системе образования» (о мире образования), когда акцент делается на процедуре рефлексии о процессах и системе образования;
- репрезентация «имманентной включенности в образовательное отношение» (в мире образования). В этом паттерне образование осуществляется в самой жизни, акцент делается на понимании, интерпретации, включенной в педагогическую сферу. Следует отметить, что именно эта позиция приобретает все больший вес, начиная с конца XX века.

Каковы же когнитивные паттерны образования, существующие в философии образования на рубеже тысячелетий? Вслед за А.П. Огурцовым можно выделить следующие<sup>7</sup>:

- самосознающая личность с акцентом на методы понимания и герменевтической интерпретации целей и ценностей образования;
- нейтральный язык наблюдения, свободный от ценностей, на базе которого можно унифицировать и науки, и образование;
- многообразие «языковых игр» внутри родного естественного языка;
- диалогическое отношение «Я» и «Другой», которые составляют исходную диадку педагогического отношения «учитель-ученик»;
- последовательность проб и ошибок, постановки и решения проблем, критическое рациональное сознание и самосознание;
- становление личности, для чего необходимо образование для социализации и аккумуляции;
- многообразные «сети получения знаний» (или «антипедагогика») или плюрализм групповых ценностей;
- разрыв с историей и рациональностью науки во имя мифов и эстетизации сознания, характерных для постмодернизма.

Все эти когнитивные паттерны образования и соответствующие им философские концепции образования по-разному определяют и субъекта образования, и процедуры образования, его содержание и направленность.

Широко обсуждаются и проблемы, связанные с функционированием и развитием систем образования, с изменением их ценностей и норм. Система образования является одним из важнейших цивилизационных механизмов. Складывание нового типа цивилизации – информационного общества ставит новые задачи перед системой образования. Реформа системы образования в России, начавшаяся в начале нового тысячелетия, должна учесть те вызовы, которые ставит перед нашим обществом «информационная цивилизация». В противном случае Россия окажется на обочине мирового развития. Современная философия образования стремится осмыслить эти вызовы, найти на них адекватные ответы, сформировать новые ценности и новое содержание образования. Поэтому необходимо знакомство с теми тенденциями, которые существуют в зарубежной философии образования. Российская система образования может избежать тупиков, в которых она оказалась в настоящий момент, если ее руководители не пойдут по пути некритической рецепции зарубежных способов организации системы школьного и высшего образования.

Общими тенденциями философии образования XXI в. являются:

- 1) осознание кризиса системы образования и педагогического мышления как выражение кризисной духовной ситуации нашего времени;
- 2) трудности в определении идеалов и целей образования, соответствующего новым требованиям научно-технической цивилизации и формирующегося информационного общества;
- 3) конвергенция между различными направлениями в философии образования (напр., между педагогической антропологией и диалогической философией образования; между критико-рационалистическим направлением и критико-эмансипаторским направлением);

---

<sup>7</sup> Огурцов А.П., Платонов В.В. Образы образования. Западная философия образования. XX век.

4) поиски новых философских концепций, способных служить обоснованием системы образования и педагогической теории и практики (выдвижение на первый план феноменологии, поворот к дискурсивному анализу М. Фуко и др.).

Подводя итог изложенному, резюмируем, что под современной **философией образования** в настоящей работе понимается философско-методологическая рефлексия сферы образования, анализирующая:

- **основания педагогической деятельности и образования,**
- **их цели, нормы, идеалы,**
- **методологию педагогического знания,**
- **методы проектирования, создания, развития и смены образовательных институтов и систем.**

Вместе с тем, несмотря на широкую палитру воззрений, существует согласие по поводу того, что важнейшей **функцией** системы образования является необходимость **обеспечить воспроизводство общества с помощью трансляции опыта и знаний, ценностей и норм культуры от поколения к поколению**. Проблема заключается в том, **как** операционально и конкретно организовать необходимую трансляцию. В этом пункте и заключается принципиальное различие в многообразных философско-методологических подходах к образованию.

Таким образом, с данного раздела наша книга (как и любая другая, ориентированная на образовательные цели) должна была бы начинаться. Но в силу того, что в отечественной традиции мы впервые рискнули поднять соответствующую проблематику в контексте учебной литературы, блок, посвященный философии образования является резюмирующим. Возможно, он позволит любопытному читателю по-новому взглянуть на естественнонаучную и другие части современной научной картины мира и побудит под иным углом зрения перечитать курс «Естествознания» - не только для того, чтобы благополучно получить зачет или сдать соответствующий экзамен.

## Глава 1. Конвергентные технологии.

В XXI веке нанотехнологии будут оказывать все более возрастающее воздействие на экономическую и социальную жизнь человечества, что требует принятия мер для развития исследований в этой области. Развитие нанотехнологии не сводится лишь к получению конкретных научных результатов или внедрению новых технологий. На самом деле, оно включает в себя решение многих побочных экономических и социальных задач, то есть требует целостного, системного подхода. В последнее время появляется все больше ценных книг и публикаций, посвященных нанотехнологии, однако можно с огорчением констатировать, что почти все они относятся к чисто научной и технической стороне развития нанотехнологии. Экономические и социальные проблемы использования новых технологий почти не рассматриваются.

Первой страной, оценившей возможности новой науки и выработавшей долгосрочную стратегию развития в этом направлении, стали Соединенные Штаты Америки, где в феврале 2000 года было объявлено о Национальной Нанотехнологической Инициативе, представляющей собой обширную научно-техническую программу. Уже в следующем году правительство США выделило на нанотехнологические исследования около 500 миллионов долларов и начало осуществлять целый ряд важных практических мероприятий, направленных на всемерное развитие нанотехнологии.

Нанотехнологии сегодня представляются чрезвычайно перспективной областью, обещающей множество блестящих применений, от создания новых и высокоэффективных лекарств против тяжелейших заболеваний (включая раковые) до создания фантастических «молекулярных производств», позволяющих производить любые требуемые вещества буквально по принципу построения требуемых молекул из атомов исходных элементов. В связи с развитием нанотехнологии мы постоянно узнаем об удивительных открытиях и перспективах, например, о возможности создания компьютеров небывалой мощности, введении в человеческий организм удивительных микроскопических имплантантов (восстанавливающих, имитирующих или даже значительно расширяющих возможности человека) и о многих других, столь же удивительных перспективах. Более того, мы узнаем, что эти возможности перестали быть просто предметом дискуссий изобретательных дилетантов или авторов научно-фантастических произведений, а являются реальными разработками, предлагаемыми серьезными учеными и экспертами. Новый подход настоятельно требует простого и ясного разъяснения основ теории и возможностей применения предлагаемых нанотехнологии в рамках привычных научных, технических и медицинских понятий.

### §1.1. Введение в современные нанотехнологии.

Для понятия нанотехнологии, пожалуй, не существует исчерпывающего определения, но по аналогии с существующими ныне микротехнологиями следует, что нанотехнологии - это технологии, оперирующие величинами порядка нанометра. Поэтому переход от "микро" к "нано" - это качественный переход от манипуляции шестем к манипуляции отдельными атомами.

Будем в дальнейшем исходить из следующего понимания **нанотехнологии**: *любые технологии производства объектов, потребительские свойства которых определяются необходимостью контроля и манипулирования отдельными наноразмерными объектами.*

Когда речь идет о развитии нанотехнологии, имеются в виду три направления:

- изготовление электронных схем (в том числе и объемных) с активными элементами, размерами сравнимыми с размерами молекул и атомов;
- разработка и изготовление наномашин;
- манипуляция отдельными атомами и молекулами и сборка из них макрообъектов.

Разработки по этим направлениям ведутся уже давно. В 1981 году был создан туннельный микроскоп, позволяющий переносить отдельные атомы. С тех пор технология была значительно усовершенствована. Сегодня эти достижения мы используем в повседневной жизни: производство

любых лазерных дисков, а тем более DVD невозможно без использования нанотехнических методов контроля.

Нанотехнологии, особенно наномедицина, развиваются в двух принципиально разных направлениях, условно именуемых «*dry-нанотехнологией*» в механической традиции и «*wet-нанотехнологией*» в биологической традиции.

«*Dry-нанотехнологии*» чаще всего отталкиваются от уже имеющихся технологий - вроде сканирующих микроскопов, которые способны перемещать отдельные атомы и молекулы. Пока что, как правило, это выражается в форме своеобразных «нанограффити», то есть складывании из атомов собственных имен исследователей, названий их институтов или щедрых спонсоров. Но все такие эксперименты обычно ограничены плоскостью. Укладывание молекул друг на друга - следующая задача, которая будет решена в ближайшие годы.

Например, исследователями Гарвардского университета сконструирован первый «нанопинцет» общего назначения, использующий пару электрически управляемых углеродных нанотрубок. С помощью этого механизма удастся манипулировать 300-нанометровыми кластерами полистироловых микросфер или извлекать единственный 20-нанометровый полупроводниковый провод из массы аналогичных перепутанных проводов. В ближайшем будущем ученые надеются создать столь малый нанопинцет, чтобы захватывать отдельные крупные молекулы.

«*Wet-нанотехнологии*» сконцентрированы на конструировании и модификации белковых молекул, знаменитых своими выдающимися способностями к самосбору. Многие ученые полагают, что ключ к прогрессу лежит именно здесь. Живые системы используют множество молекулярных машин, таких как молекулярные моторы. Поэтому логично попытаться приспособить к нашим потребностям уже имеющиеся в природе механизмы, используя их для приведения в движение крошечных насосов, рычагов и зажимов. Концепцию «wet-нанороботов» иногда именуют также микробiorоботами.

Исследователям из Нью-Йоркского университета, избравшим «подход самосбора», удалось научиться генерировать комплементарные нити ДНК, которые объединяют себя в сложные структуры желаемой конфигурации. Так были выстроены кубы, восьмигранники и другие правильные фигуры, состоящие всего из нескольких тысяч нуклеотидов. Избрав аналогичный подход, ученые генетически модифицировали природный биомотор, в естественных условиях встречающийся в ферменте аденозинтрифосфатазе (ATPase). В результате был изготовлен первый гибридный наномотор с небиологическими элементами из 100-нанометровых полос азотистого кремния. Подобно микроскопическому пропеллеру, он вращается со скоростью 200 оборотов в минуту.

Как показывают предварительные оценки, механические системы в конечном счете смогут обеспечить более высокие скорости работы и большую эффективность управления нанороботом, нежели системы биологические. Однако важным преимуществом последних является то, что зачастую их функциональные компоненты можно частично или целиком брать из уже имеющихся естественных живых систем, тем самым существенно сокращая время разработки.

Растущую значимость нанотехнологии каждый человек чувствует по публикациям в научной или популярной литературе, по информации в Интернете и в средствах массовой информации. Подтверждением значения и роли нанотехнологии в развитии общества может служить ежегодный рост публикаций по этой проблематике, числа заявок на патенты, распределения финансирования на эти темы и т.п. В качестве еще одного аргумента можно привести интенсивно развивающиеся дискуссии по научным и политическим аспектам нанотехнологии. Дискуссии происходят в региональных, национальных и международных масштабах, так что становится очевидным, что в этой проблеме мы, вероятно, имеем дело с техническими и экономическими процессами глобального масштаба, которые (по оценкам многих экспертов) могут перерасти в еще одну промышленную революцию.

Термин «промышленная революция», впервые сформулированный Фридрихом Энгельсом, подразумевает в узком смысле этого слова индустриализацию Великобритании в период примерно между 1750 и 1850 гг., в результате чего возникло то, что сейчас называется промышленным капитализмом. Развитие техники (особенно в сфере механизации производства) за этот период

привело к радикальному техническому, экономическому и общественному изменению социальной системы, конечным результатом чего стали огромные перемены в экономике, технике, социальной структуре, стиле жизни, политической системе и даже изменение общего ландшафта стран, вовлеченных в указанный процесс. Другими известными последствиями промышленной революции стали более гуманные условия труда, устранение массовой бедности, ускорение технологических, экономических и социальных изменений, возрастание «аккумуляции» капитала и рост предложений на рынке труда. Некоторые аспекты этого процесса и сегодня представляются чрезвычайно актуальными, особенно с точки зрения дальнейших последствий технического и экономического развития.

Второй промышленной революцией часто называют внедрение автоматизации в промышленные процессы, которое произошло в начале 20-го века. Даже те, кто считает понятие «промышленная революция» давно утратившим свой первоначальный смысл, не могут отрицать, что автоматизация производства действительно привела к глобальным и до сих пор заметным переменам в существующем обществе.

Третьей промышленной революцией некоторые социологи называют внедрение в производство процессоров, начавшееся с середины 20-го века.

Такое сравнение нанотехнологии с перечисленными выше промышленными преобразованиями, послужившими основой глобальных изменений во всех сферах жизни, еще глубже подчеркивает невероятный потенциал развития новых технологий.

Легко заметить, что любые дискуссии по проблеме нанотехнологии в кругах экспертов (особенно при рассмотрении общественно-политических вопросов) отличаются удивительной широтой обсуждаемых тем и понятий. Почти всегда эти многочисленные обсуждения быстро переходят от рассмотрения каких-либо последних достижений в области нанотехнологии к практическим возможностям их использования. Эксперты любят обсуждать глобальные применения, которые потенциально обещают охватить все сферы жизнедеятельности, а также потенциальные риски, связанные с техническими преобразованиями. Забавно, что связанные с нанотехнологиями серьезные ученые часто предлагают весьма смелые проекты, в свете которых все измышления журналистов, писателей-фантастов и дилетантов представляются упрощенными и приземленными.

Серьезное знакомство с основами, стратегией развития и областями возможного применения нанотехнологии сейчас приобретает особое значение по двум основным причинам. Во-первых, такое знакомство служит предпосылкой для компетентной оценки потенциала нанотехнологии в области промышленного применения с технической и макроэкономической перспективы, а, во-вторых, оно необходимо самым разным специалистам для оценки возможных изменений в различных сферах общественной жизни (например, в медицине, использовании природных ресурсов, образовании и т.п.).

Нанотехнологии в последние годы стала очень популярна в академических кругах, а также в высших учебных заведениях, что можно объяснить неожиданно возникшей острой потребностью в квалифицированных кадрах. Наряду со специально созданными и дополнительными учебными курсами, спешно создаются новые учебники и программы обучения или совершенствования персонала. В высших учебных заведениях Германии и других развитых стран уже создан целый ряд новых учебных курсов и факультативных курсов лекций по различным направлениям нанотехнологии. Большинство новых учебных пособий пытается отобразить разнообразие идей нанотехнологии и различные научно-технические особенности отдельных областей нанотехнологии, от электроники до молекулярной медицины, однако для фундаментального понимания принципов наноподхода гораздо важнее знание междисциплинарных основ, объединяющих область исследований нанотехнологии, независимо от конкретного применения. В мировой науке наблюдается новое и очень интересное явление - проведение междисциплинарных исследований на основе срастающихся и взаимно дополняющих друг друга наук и технологий, в результате чего неожиданно появляются новые продукты и методы. Этот феномен даже получил специальное название слияния или сходимости технологий.

При любой системе оценок и определений, следует признать, что нанотехнологии представляют собой чрезвычайно важное направление научно-технического развития вообще. Общественные дискуссии о нанотехнологии обычно проводятся людьми, не имеющими специальных знаний, а точный прогноз возможностей развития новой науки представляется проблематичным даже для экспертов. Нанотехнологии системно связаны с множеством научных дисциплин и уже существующих технологий, и эта специфика отражается как на процессе обучения, так и изучении структур и явлений на нанометрическом уровне.

Итак, резюмируя изложенное будем исходить из следующих дефиниций:

- **нано наука** может быть определена как междисциплинарная наука, относящаяся к фундаментальным физико-химическим исследованиям объектов и процессов с масштабами в несколько нм ( $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$ ).
- **нанотехнология** может быть определена как совокупность прикладных исследований нанонауки и их практических применений, включая промышленное производство.

### §1.2. Чему соответствует единица «нано».

Часто нанотехнологии ошибочно и очень упрощенно связывают только с длиной и определяют ее через характерные или минимальные параметры (размеры) структуры, материала или компонентов системы. Столь же ошибочным представляется и распространенное мнение, что нанотехнологии возникла «сама собой» в рамках микроэлектроники вследствие естественного прогресса в технике миниатюризации. В многочисленных дискуссиях истинная значимость нанотехнологии обычно переоценивается или недооценивается, но в целом сейчас почти никто не сомневается в том, что новые технологии представляют огромную важность для развития науки, техники и общества.

В последнее время термин «нанотехнология» (сокращенно нано-тэк) стал очень популярным. Он объединяет разнородные представления и подходы, а также разные методы воздействия на вещество. Легко заметить, что название новой науки возникло просто в результате добавления к весьма общему понятию «технология» приставки «нано», означающей изменение масштаба в  $10^9$  (миллиард) раз, то есть 1 нанометр —  $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$ , что составляет одну миллионную привычного нам миллиметра (для наглядности можно указать, что 1 нм примерно в 100 тысяч раз меньше толщины человеческого волоса). Разумеется, человеческое воображение и используемые нами слова, образы или термины почти неспособны сколько-нибудь адекватно описывать «мир» со столь крошечными объектами.

К нанотехнологии принято относить процессы и объекты с характерной длиной от 1 до 100 нм. Верхняя граница нанообласти соответствует минимальным элементам в так называемых БИС (больших интегральных схемах), широко применяемым в полупроводниковой и компьютерной технике. С другой стороны, интересно, что многие вирусы имеют размер 10 нм, а 1 нм почти точно соответствует характерному размеру белковых молекул (в частности, радиус знаменитой двойной спирали молекулы ДНК равен именно 1 нм).

Термин «технология» в рассматриваемом случае следует воспринимать в значении «техника», а не относить его лишь к некоторым техническим процедурам. Префикс «нано» является заимствованием из греческого языка. Подобно аналогичным префиксам, заимствованным из греческого или латыни, частица «нано» применяется для обозначения определенной доли (фракции) физических величин. В данном случае речь идет об одной миллиардной части ( $10^{-9} = 0,000\,000\,001$ ) какой-либо величины, что позволяет вводить, например, нанолитр ( $1 \text{ нл} = 10^{-9}$  литра), наносекунду (1 нс) или нанометр (1 нм = одной миллиардной метра, одной миллионной миллиметра или одной тысячной микрометра). Введение таких дополнительных мер длины играет особую роль для определения нанотехнологии, однако нанотехнологии нельзя упрощенно связывать лишь с масштабами объектов.

Для достаточно малых систем функциональные свойства материалов или их отдельных компонентов начинают зависеть от размеров объектов. Речь идет о том, что основные характеристики вещества как целого, обычно рассматриваемые в качестве постоянных (например, твер-

дость, электрическая проводимость, Цвет или химическая активность мелких частиц) для любого заданного материала, начинают зависеть от размера частиц. Этот эффект нельзя наблюдать в объемных материалах или у более крупных частиц: стальная булавочная головка имеет те же основные физические свойства (серебристый блеск, твердость, электропроводность и точку плавления), как и слиток стали того же сорта весом в 1 тонну. Обычно физико-химические свойства веществ не связаны с их размерами, но ситуация принципиально изменяется при переходе к нанообъектам и нановеществам. Например, миниатюрные полупроводниковые компоненты меньше некоторой критической величины ведут себя совсем не так, как их более крупные аналоги, так как электрические токи в таких объектах могут протекать только в некоторых изолированных областях, а значения тока могут возрастать при росте напряжения ступенчато, а не непрерывно. В таких системах характерное измерение размеров оказывает непосредственное влияние на функциональность компонентов и их свойства. Поэтому представляется целесообразным дать следующее определение:

*Специфические функциональные параметры в нанотехнологии достигаются путем уменьшением характерных структурных размеров в тех случаях, когда размеры объектов (по крайней мере, в двух измерениях) не превышают значения 100 нм.*

Этого кажущегося несколько абстрактным определения (формулы), с одной стороны, вполне достаточно, чтобы упорядочить представления о различных областях применения нанотехнологии. С другой стороны, оно исключает некоторые области применения инновационного характера, которые «незаконно» причисляются к нанотехнологии. Особое значение имеет установление нанобласти в интервале 1-100 нм, так как именно в этой области размеров проявляется большинство абсолютно новых свойств любых объектов. Ниже этого предела находятся отдельные атомы или молекулы, а выше - микротехнологии. Путем ограничения в приведенном определении на два нанометровых измерения исключается возможность, что продуктом нанотехнологии назовут, например, просто очень тонкий слой на поверхности (толщиной несколько нм), хотя структурные компоненты этого слоя при соответствующих параметрах, несомненно, будут являться наноконпонентами системы.

В соответствии с приведенным выше определением, нанотехнологии не является чем-то абсолютно новым, поскольку частицы с нанометрическими параметрами известны очень давно (например, именно такими частицами давно занимаются специалисты по коллоидной химии). Более точные и научно строгие определения, особенно в вопросах нанотехнологического синтеза, требуют возможности обращения и доступа ко всем компонентам нанообъекта. Говоря о так называемых молекулярных нанотехнологиях, следовало бы рассматривать развитие по принципу «снизу-вверх», при котором наноструктуры целенаправленно создавались бы из отдельных атомов или молекул.

Отдавая должное существующей ситуации и перспективам дальнейшего развития методов изготовления наноструктур, было бы целесообразно оставить приведенную формулу (определение) без изменений и просто констатировать, что принципом, объединяющим различные нанотехнологии, выступает целенаправленное использование приведенного выше ограничения свойств объектов.

Но наноструктуры можно производить как с помощью методик типа «сверху – вниз» (основной принцип которых состоит в постепенном уменьшении размеров от макро- через микро- до нанобласти), так и посредством методик типа «снизу – вверх», основой которых служит атомарный или молекулярный синтез все более крупных и усложняющихся структур. Используя новейшие методы супрамолекулярной химии или гennых технологий, уже сейчас удается синтезировать структуры величиной в нанометры, однако вплоть до настоящего времени представлялось невозможным производить их в массовом количестве, то есть создавать в пробирке большое число одинаковых наноразмерных «объектов», обладающих одинаковой, точно заданной функциональностью. С другой стороны, подобное «производство» не только не противоречит законам природы, но и реально осуществляется в биологических системах, где постоянно синтезируются в

больших количествах сложнейшие «наномашин», функциональность которых обусловлена параметрами и размерами, приведенными в определении.

В качестве типичного примера действия биологических механизмов можно рассмотреть размножение вирусов, протекающее в природе подобно отлаженному массовому производству, действующее совершенно безошибочно и, естественно, без вмешательства человека. Как правило, вирусы состоят из тысяч протеиновых соединений, которые многократно реагируют друг с другом под действием межмолекулярных сил в неравновесных термодинамических условиях. При ошибках в процессе «сборки», как правило, начинают действовать какие-то биологические процессы «самоизлечения» или «исправления». Известно множество примеров биологических машин на межклеточном уровне с удивительными свойствами и поразительной функциональностью, и именно к этой области биологии примыкает большой раздел нанотехнологии, называемый нанобиотехнологией и представляющий собой промежуточную дисциплину на границе между собственно нанотехнологиями и биотехнологией.

В нанотехнологии взаимосвязь между структурными размерами и функциональностью целенаправленно используется для получения материалов и компонентов с новыми характеристиками. Наноструктуры могут создаваться методиками сверху - вниз и снизу - вверх.

### **§1.3. История развития нанотехнологии.**

Тот факт, что достаточно мелкие частицы различных веществ обладают свойствами, зачастую совершенно непохожими на свойства этих веществ в объемной фазе, был известен (во всяком случае, эмпирически) ученым и технологом очень давно. Известно, что еще древние римляне применяли сверхмалые частицы золота или серебра и золота для того, чтобы придавать бокалам и другим стеклянным изделиям особо характерную окраску. Не вдаваясь в детали производства, отметим, что эффект достигался введением в материал наночастиц благородного металла, что и придавало стеклу необычные оптические свойства. Стоит подчеркнуть (исходя из приведенного выше определения нанотехнологии), что в данном случае мы не можем говорить о нанотехнологии в строгом смысле этого понятия, поскольку процесс осуществлялся древними стеклодувами неосознанно, без четкого представления о реальных связях между величиной частиц и эффектом рассеивания света. Можно привести много других примеров такого практического использования наносистем, не основанного на строгих определениях и знаниях. Например, коллоидные суспензии, то есть системы с частицами меньше микрометра в жидкой среде, известны уже десятки лет, не говоря уже о многих фармацевтических препаратах, в которых наночастицы выступают носителями лекарственных препаратов, и т.д.

В декабре 1959 году знаменитый американский физик, лауреат Нобелевской премии Ричард Фейнман прочитал лекцию в американском физическом обществе под названием «Внизу полным-полно места», в которой впервые была рассмотрена возможность создания веществ (а затем, естественно, отдельных элементов, деталей и целых устройств) совершенно новым способом, а именно, «атомной укладкой», при которой человек манипулирует нужными атомами поштучно, располагая их в требуемом ему порядке. Р. Фейнман достаточно подробно рассмотрел последствия безграничной миниатюризации с позиций теоретической физики и с очень общей точки зрения проанализировал возможности изменения масштабов электромеханических приборов, электрических схем и проблему записи, сжатия и сохранения информации. Идеи Фейнмана казались слушателям фантастическими, поскольку практическая реализация предлагаемых им устройств и механизмов считалась проблемой далекого будущего или вообще невозможной. Сегодня мы убеждаемся, что идеи великого физика оказались вполне реалистичными, а многие из них уже воплощены в математических расчетах и практических применениях.

При этом сам Фейнман не пользовался термином «нанотехнология», поскольку это понятие было введено в обиход позднее (1974) японцем Норие Танигучи. Долгое время термин не получал широкого распространения среди специалистов, работавших в связанных областях, так как Танигучи использовал понятие «нано-» только для обозначения точности обработки поверхностей, например, в технологиях, позволяющих контролировать шероховатости поверхности материалов



на уровне меньше микрометра и т.п. Примерно через сорок лет после этого Эрик Дрекслер в своей известной книге «Машины творения» (1986) предложил создавать устройства, названные им «молекулярными машинами», и раскрыл удивительные возможности, связанные с развитием нанотехнологии. Воображаемые устройства Дрекслера по своим размерам были значительно меньше, чем хорошо известные всем биологические клетки.

Однако принято считать, что нанотехнологии "начались", когда 70 лет назад Г.А.Гамов впервые получил решения уравнения Шредингера, описывающие возможность преодоления частицей энергетического барьера даже в случае, когда энергия частицы меньше высоты барьера. Новое явление, называемое туннелированием, позволило объяснить многие экспериментально наблюдавшиеся процессы. Найденное решение позволило понять большой круг явлений и было применено для описания процессов, происходящих при вылете частицы из ядра.

Очень важным моментом в истории нанотехнологии стало изобретение растрового туннельного микроскопа в конце 1981 года, так как этот прибор впервые позволил получить изображения отдельных атомов, а не их упорядоченных скоплений. Нобелевскую премию в области физики за изобретение этого ценного прибора получили Герд Бинниг и Гейнрих Рорер из исследовательской лаборатории фирмы ИВМ. Важность их открытия заключается в том, что оно затем привело к созданию целой серии приборов, позволяющих анализировать поведение вещества на молекулярном и атомном уровне, а еще позднее на этой основе реализовались возможности управления поведением атомов и молекул. С другой стороны, простота и удобство этих приборов привели к их очень быстрому распространению, так что сегодня невозможно себе представить исследования, разработки и производство в нанотехнологии без атомарных микроскопов, ставших стандартным оборудованием многих лабораторий. Можно было бы привести еще несколько важных дат в истории нанотехнологии<sup>8</sup>, однако необходимо подчеркнуть, что эта история сложилась из множества параллельно протекавших и непрерывных разработок в различных областях науки и техники. В частности, нанотехнологии возникли из сочетания множества технологий, связанных с микроскопическими исследованиями и анализом состояния поверхностей различных веществ в микроэлектронике. В основу нанотехнологии столь же органично вошли аналитические и методические разработки супрамолекулярной химии и биохимии вообще. Развитие нанотехнологии подразумевает также невероятный рост возможностей теоретического моделирования вообще (и наносистем, в частности), благодаря невиданному росту вычислительной мощности компьютеров, связанному с возможностями удивительной миниатюризации. Создание новых производств в области полупроводников становится исключительно дорогим процессом и противоречит требованиям повышения прибыльности, лежащим в основе экономики современного мира. Результатом удорожания производства становится концентрация, то есть уменьшение числа крупных предприятий и исследовательских организаций. При существующем (и ожидаемом в будущем) росте затрат на разработку и производство новых электронных устройств серьезные научно-технические исследования будут осуществляться лишь очень небольшим числом крупных компаний, так что, возможно, нам придется столкнуться с некоторым общим, глобальным пределом, определяемым экономическими законами и условиями. Нельзя также забывать, что, помимо экономических соображений, существуют и весьма серьезные научные, физико-химические ограничения дальнейшего уменьшения размеров создаваемых нами полупроводниковых структур, возникающие, например, когда структурные измерения интегральной схемы охватывают небольшое количество

---

<sup>8</sup> Можно выделить следующие основные этапы развития нанотехнологии:

1959 г. Лауреат Нобелевской премии Ричард Фейнман заявляет, что в будущем, научившись манипулировать отдельными атомами, человечество сможет синтезировать все, что угодно.

1981 г. Создание Г. Биннигом и Г. Рорером сканирующего туннельного микроскопа - прибора, позволяющего осуществлять воздействие на вещество на атомарном уровне.

1982-85 гг. Достижение атомарного разрешения.

1986 г. Создание атомно-силового микроскопа, позволяющего, в отличие от туннельного микроскопа, осуществлять взаимодействие с любыми материалами, а не только с проводящими.

1990 г. Манипуляции единичными атомами.

1994 г. Начало применения нанотехнологических методов в промышленности.

пластов атомов. Законы квантовой физики в этих системах приводят к тому, что интегральные схемы перестают действовать в соответствии с привычными ожиданиями.

Миниатюризация в нанотехнологии (в отличие от ситуации в микроэлектронике и микросистемной технике) является не самоцелью, а средством получения новых функциональных качеств, то есть мы сталкиваемся с совершенно иной парадигмой развития технологий вообще, что имеет особое значение для развития новой науки.

Начиная с 1980 года, в технологии производства транзисторов и лазеров все чаще стали использоваться искусственно создаваемые пленки толщиной около 10 нм, что позволяло изготавливать устройства с новыми, повышенными техническими характеристиками. В 1980 году в Японии был изготовлен первый полевой транзистор с высокой подвижностью носителей. В 1981 году сотрудники фирмы ИВМ создали сканирующий туннельный микроскоп (СТМ), позволяющий получать изображение с разрешением на уровне размеров отдельных атомов, что явилось исключительно важным научным достижением, поскольку исследователи впервые получили возможность непосредственно наблюдать и изучать мир в нанометровом, атомарном масштабе. Японские фирмы и научные организации, в свою очередь, начали энергично развивать методики в области микроскопии, в результате чего за короткое время были созданы новые типы сканирующих туннельных микроскопов, а также электронных микроскопов с очень высоким разрешением (напомним, что разрешением оптического прибора физики называют размер наименьшей детали, которую можно выделить на получаемом изображении), позволяющих исследовать движение отдельных атомов и молекул. Это привело к энергичному развитию экспериментальной техники в нанометровом диапазоне и значительно расширило наши представления о микромире и нанобъектах.

В настоящее время уровень японских исследований в нанотехнологиях является одним из самых высоких в мире, однако следует помнить, что в XXI веке борьба за техническое лидерство в этой области будет продолжаться, причем ведущими направлениями исследований станут информационные технологии и биологические науки. В 1980 году основой электроники являлась полупроводниковая техника, но сейчас все отчетливее начинают выявляться новые направления (нанoeлектроника и биоэлектроника), непосредственно связанные с прогрессом нанотехнологии. В 1990 году началась реализация огромного международного проекта по определению последовательности укладки около 3 миллиардов нуклеотидных остатков в записи генетической информации (проект «Геном Человека»), ставшего ярким прорывом в биологии и медицине. Этот проект одновременно является исключительно важным для развития нанотехнологии, поскольку открывает новые огромные возможности в информационных технологиях, позволяя понять, а затем и использовать принципы обработки информации в живой природе (биоинформатика). Можно даже сказать, что до 1990 года информационная технология была всего лишь составной частью или «ветвью» электроники, а после 1990 года от нее отросла (как от ветви настоящего дерева) независимая отдельная веточка, которую можно назвать биоинформационной технологией. В связи с осуществлением проекта «Геном Человека» произошло также быстрое и энергичное развитие разнообразных исследовательских методик в области собственно биотехнологий.

Проект «Геном Человека» был завершен в 2000 году и позволил ученым прочитать генетическую информацию, связанную с человеческим организмом, что уже привело к созданию новых лекарств по новым принципам и на новой основе (геномика). Следующим естественным этапом стало развитие новых отраслей фармацевтической промышленности и создание новых производственных процессов и мощностей, а также расширение сферы всего бизнеса и деловой активности в этой обширной отрасли.

Можно ожидать, что лекарственные препараты в XXI веке будут выпускаться буквально в индивидуальном порядке (то есть для каждого конкретного пациента на основе его генной информации будут разрабатываться препараты, обеспечивающие максимальный лечебный эффект при данном заболевании и т.п.). Такая ориентированная на заданного человека система лечения уже даже получила название «индивидуальной» терапии или «лечения по заказу» и она, безусловно, открывает перед практикующими врачами огромные перспективы. Дальнейшие исследования позволят перейти от генома человека к изучению молекулярной структуры белков, особенностей

их функционирования в живых организмах, механизмов их взаимодействия и т.п., что вновь неожиданно приводит нас ко многим задачам и проблемам, связанным с информационной технологией. Понимание и использование механизмов взаимодействия на молекулярном уровне важны не только для биологии, но и составляют основу нанонауки в целом.

Поэтому фундаментальные исследования XXI века в области нанотехнологии должны обязательно нацеливаться именно на изучение механизмов процессов на молекулярном уровне. В прикладных задачах, по-видимому, основное внимание будет уделяться проблемам биотехнологии, а также дальнейшему развитию и прогрессу полупроводниковой техники и информационных приложений (созданию новых типов интегральных схем, запоминающих устройств и т.д.).

Нанотехнология должна стать основой для практической реализации многих вечных стремлений человека. В 2000 году нанотехнология делает первые шаги и начинает бурно развиваться, но к середине столетия уже можно ожидать существенного прорыва во многих областях, включая информационные технологии, биологию, создание «информационного общества», медицину и т.п.

Миниатюризация была и остается движущей силой в разработках новых технологий, хотя внешне мотивацией всегда выступала реализация конкретных целей, связанных с эффективностью и оптимизацией. В этом смысле нанотехнологии означает существенную смену парадигм развития, так как миниатюризация в рамках нанотехнологии имеет иной смысл (сказанное не отрицает того факта, что достигнутые ранее рубежи стратегии миниатюризации представляют собой важную основу для развития нанотехнологии и связанных с ней идей).

#### **§1.4. Границы изменения масштабов: планы и стратегия развития нанотехнологии.**

Существующая полупроводниковая техника основана на методах и технологиях микроэлектроники. Электроника, как целостное направление, возникла около 1900 года и продолжала бурно развиваться в течение всего прошлого столетия. Исключительно важным событием в ее истории стало изобретение транзистора в 1947 году, позволившее быстро снизить размеры используемых элементов примерно до 75 мкм. В настоящее время техника миниатюризации развилась настолько, что позволяет легко изготавливать детали схем размером около 0,2 мкм. При этом тенденция к уменьшению размеров сохраняется, поэтому можно ожидать, что к 2011 году линейные размеры интегральных схем снизятся до 50 нм! Однако представляется очевидным, что существующие технологические приемы уже не в состоянии обеспечить эффективное производство элементов электронных схем с необходимой точностью.

Вообще говоря, миниатюризация в нанотехнологии означает контроль структурных параметров в масштабах до нескольких нанометров. Например, это подразумевает особую точность обработки поверхности оптических материалов, то есть регулирование распределения величины зерен поликристаллических сред в соответствующих узких границах. Измерения в субмикрометровой области могут осуществляться на пластинах монокристалла кремния толщиной около 300 нм, что требует от исследователей решения новых задач измерения, новых методов контроля структурных параметров, не говоря уже о новых концепциях и стратегиях производства. Основными понятиями новой теории построения вещества выступают представления о построениях сверху - вниз, суть которых состоит в том, что размеры образца непрерывно изменяются (в одном, двух или даже трех измерениях), постепенно уменьшаясь до микрометров. Структура объемных материалов в таких исследованиях может модифицироваться самыми разными методами, например постепенным изменением условий тепловой и механической обработки, механической или химической полировкой поверхности и т.п. К этим методикам примыкает механическое дробление вещества для производства микрочастиц, которые, однако, могут быть изготовлены и путем химического или физического синтеза по методикам типа «снизу – вверх» (например, так можно получать тонкие и ультратонкие слои или покрытия).

Основным для всех описанных выше методов выступает то, что для их использования не требуется точная информация относительно микроскопической структуры (в микрометрах или нанометрах) изготавливаемых веществ. Потребность в точном определении размеров возникает, од-

нако, при изготовлении компонентов микроэлектроники, микромеханики и микросистемных устройств, что требует от инженеров выработки особой стратегии при изготовлении идентичных микроструктур в больших количествах. Основой структурного единства в микроэлектронике сегодня выступают литографические методы, позволяющие получать разнообразные формы в объемных полупроводниковых материалах. Эти технологии базируются, в основном, на оптических методах с использованием масок, что позволяет создавать требуемые элементы в светочувствительном слое резиста (полимерного материала, меняющего свои свойства при освещении). Это позволяет технологам формировать нужные структуры, комбинируя требуемые режимы освещения и используя хорошо изученные процессы травления, диффузии и имплантации.

Стандартным материалом для микроэлектронных и микромеханических компонентов является кремний, а для создания определенных компонентов схемы могут применяться различные легирующие материалы, а также (при создании особо сложных систем) связующие полупроводники, оптоэлектронные материалы, полимеры, органические материалы и т.п. Методы структурирования и миниатюризации материалов или образцов в целом могут и должны, естественно, варьироваться в каждом конкретном случае.

Планы и стратегии процессов миниатюризации изделий могут быть описаны математическими моделями, отражающими технологии типа «сверху – вниз» и «снизу – вверх». В сфере существующих технологий доминируют методы «сверху – вниз», а в отдельных сферах мы уже умеем пользоваться методиками «снизу – вверх». При производстве индивидуальных наноструктур в электронике обычно применяется усложняющаяся литографическая технология.

Подход **«сверху—вниз»** основан на уменьшении размеров физических тел механической или иной обработкой, вплоть до получения объектов с ультрамикроскопическими, нанометровыми параметрами. В качестве простого примера можно указать некоторые полупроводниковые устройства, структура которых создается фотолитографической обработкой. При фотолитографии полупроводниковая заготовка подвергается обработке лазерным лучом, что позволяет получить в ней заранее спланированную конфигурацию схемы. Разрешающая способность (то есть минимальный размер элементов изготавливаемой схемы) определяется при этом длиной волны лазерного излучения. В настоящее время самые короткие длины такого излучения позволяют осуществлять микрообработку с точностью до 100 нм, однако необходимо отметить, что эта технология является сложной и требует дорогого оборудования, вследствие чего она малоприменяема для организации эффективного крупномасштабного производства.

Идея технологии **«снизу—вверх»** заключается в том, что сборка создаваемой «конструкции» осуществляется непосредственно из элементов «низшего порядка» (атомов, молекул, структурных фрагментов биологических клеток и т.п.), располагаемых в требуемом порядке. Этот подход можно считать «обратным» по отношению к привычному методу миниатюризации «сверху—вниз», когда мы просто уменьшаем размеры деталей.

Типичным примером подхода «снизу—вверх» может служить поштучная укладка атомов на кристаллической поверхности при помощи сканирующего туннельного микроскопа или других устройств этого типа. Метод позволяет наносить друг на друга не только отдельные атомы, но и слои атомов. Конечно, в настоящее время описываемый подход характеризуется очень низкой эффективностью и производительностью, однако ему принадлежит будущее.

В живых организмах биологические клетки образуются в результате деления (митоза). С точки зрения предлагаемого подхода очень интересно, в какой степени и как атомы способны «самостоятельно» объединяться в более сложные вещества и материалы. Вообще говоря, сборка «снизу—вверх» (самоорганизация вещества) является довольно распространенным явлением. Все мы знаем, что разнообразные взаимодействия атомов и молекул способны приводить к образованию высокоупорядоченных состояний из исходных гомогенных смесей. Ярким примером являются живые организмы, способные усваивать «мертвые» клетки других организмов и перерабатывать их в новые «живые» клетки. Сейчас уже известно, что в живых организмах могут существовать также клеточные структуры в виде нанотрубок, кристаллов и т.п. Процессы самоорганизации, представляющие особый интерес для молекулярной химии, безусловно не могут протекать

«сверху-вниз». Структурирование и сборка биологических тканей происходят на атомарно-молекулярном уровне, причем живые организмы осуществляют их с высокой эффективностью. Это означает, что низкая эффективность существующих процессов «снизу—вверх» (о которой говорилось выше) свидетельствует лишь о нашем недостаточном техническом мастерстве и может быть преодолена.

Технологии типа «сверху – вниз» в неявной форме предполагают, что уменьшение размеров структур не влияет на их фундаментальные свойства и принципы функционирования. Производственники как бы считали, что свойства вещества при миниатюризации не изменяются, так что проблема для них формально сводилась к уменьшению размеров ранее созданных (возможно, десятилетие назад) электронных устройств. Основная проблема нанотехнологии заключается как раз в гораздо более сложном явлении, так как изменение масштабов изучаемых и используемых объектов приводит к существенным изменениям условий производства. Если используемая стратегия миниатюризации не противоречит понятным и известным нам законам природы, то исследователь, естественно, может придерживаться прежних концепций дизайна. Для производства компонентов микроэлектроники это просто означает, что возможно изготовление новых, более миниатюрных изделий того же типа (но с повышенными характеристиками) на основе, например, совершенствования литографических технологий и иных стандартных материалов на основе ранее существовавших принципов функционирования. Но даже для литографии проблема не является столь простой, поскольку ее возможности (размеры получаемых структурных элементов) ограничены длиной волны используемого света, то есть переход от микро- к нанообласти требует перехода от ультрафиолетового излучения к так называемой дальней ультрафиолетовой области, для которой пока не существует не только стандартных источников света и соответствующих материалов, но даже и методов оптической проекции. В данном случае, помимо сохраняемых теоретических принципов конструирования, необходимо решить весьма непростые технические задачи, связанные с физикой процессов вообще. Аналогичные примеры можно привести для самых различных областей развития нанотехнологии.

Даже в тех случаях, когда изменение масштабов производственных процессов представляется технически выполнимым и экономически целесообразным, исследователь должен серьезно задуматься о смысле постановки самой технологической задачи, вследствие неадекватного поведения физических явлений при новых масштабах. Например, обычный современный транзистор включает в себя от  $10^{10}$  до  $10^{12}$  атомов, но нанотранзистор будет состоять только из 1000 ( $10^3$ ) атомов, в результате чего в нем может проявляться «индивидуальность» отдельных атомов (в объемных образцах атомы являются и считаются «идентичными»). Результатом такого изменения масштабов и соотношений станет тот факт, что нанотранзистор не будет работать в соответствии с первоначальными критериями проектировщика, например, вследствие того, что свойства кристаллов кремния изменятся по нарастающей с уменьшением структурных размеров. Примерно к этому сводится множество новых явлений в нанотехнологии.

Вообще говоря, свойства наноконструкций системы можно формально подразделить на электронные, магнитные, оптические, механические, термические, химические и биологические. Особый интерес в техническом отношении представляют не столько новые функциональные возможности, сколько возникающее в результате изменения масштабов увеличение возможностей исходных принципов функционирования. Такие изменения почти всегда обусловлены резким увеличением чувствительности наноконструкций системы по отношению к окружающей среде (по сравнению с взаимодействием в обычных, крупномасштабных соотношениях).

Даже обычная миниатюризация компонентов на базе известных принципов функционирования может приводить к абсолютно новым возможностям применения, и именно на такой основе уже создаются новые изделия. В более далекой перспективе математические модели нанотехнологических процессов могут позволить нам выявить и использовать абсолютно новые принципы функционирования, и эта идея лежит в основе известной концепции Эрика Дрекслера, которая давно стала предметом острых дискуссий. Предложенные им молекулярные нанотехнологии в перспективе позволяют мечтать о создании элементов или устройств, в которых отсутству-

ют силы трения и вязкости. Например, мы можем совместить на одной оси две нанотрубки, разница в радиусах которых соответствует постоянной решетки графита. В этой системе пространство между трубками можно сделать настолько «узким», что их относительному вращению практически не могут препятствовать не только никакие твердые или жидкие примеси, но даже и отдельные атомы. Другими словами, мы можем создавать молекулярные структуры, в которых уравновешены силы притяжения и отталкивания между нанотрубками.

Многие наблюдаемые в природе механизмы, по-видимому, тоже как-то связаны с концепцией новых свойств технических компонентов с минимальными размерами. Например, хорошо известные биологам ионные каналы в клетках фактически представляют собой сложные нанометровые клапаны, управляемые биопотенциалами организма. В каком-то смысле их можно уподобить крошечным транзисторам, регулирующим электрические потоки изменением напряжения, так как характерные параметры каналов составляют лишь несколько нанометров.

Сам факт эффективного функционирования отдельных биологических наноструктур является очень важным и интересным, но возможность реального использования таких элементов (или, хотя бы, их аналогов) в науке и технике требует решения нескольких принципиальных вопросов, без которых развитие нанотехнологии вообще теряет смысл. Каковы конечные границы возможностей технической миниатюризации? Какими методами мы можем производить одинаковые наноразмерные «детали» в достаточном количестве? Каким образом мы можем соединять их с внешними, макроскопическими устройствами? Как вообще мы представляем себе практическое применение таких структур?

Кристаллические зерна вещества представляют сейчас, по всей видимости, предел миниатюризации структур в производственных процессах. Невозможно представить себе транзистор с размерами меньше отдельного атома, то есть меньше 0,1 нм. Электрические заряды и токи, используемые в приборах современной микроэлектроники, представляют собой непрерывные величины, что лежит в основе теоретических и технических обоснований их проектирования и принципов функционирования. С другой стороны, еще сто лет назад стало известно, что существует элементарный электрический заряд, представляющий собой как бы естественный предел миниатюризации потоков заряда.

Примеры нижних границ миниатюризации вообще вызывают странное ощущение, что природа когда-то с абсолютной уверенностью создала и уже применила некую атомно-молекулярную нанотехнологию с функциональными элементами, определив порядок размеров отдельных атомов или молекул. Сегодня мы не имеем универсальных технологий для массового производства любых компонентов или механизмов очень малых размеров, и это не позволяет даже наметить четкие перспективы развития молекулярных наномеханизмов. Значительные успехи миниатюризации достигнуты лишь в микроэлектронике (где речь идет, в сущности, о двухмерном упорядочении) и в создании микросистемных устройств (где, впрочем, разработки ограничиваются весьма небольшим набором концепций и используемых материалов). Все сказанное делает сомнительной реализацию концепций молекулярной нанотехнологии даже в далеком будущем.

### **§1.5. Нанобиотехнология.**

Во многих отношениях организм человека демонстрирует эффективность действия наноструктур и связанных с ними технических решений, созданных самой природой. Использование уже существующих в природе биологических стратегий для решения технических проблем называют бионикой или биомеханикой, а по отношению к нанотехнологии это означает биотехнологический подход, позволяющий создавать, например, молекулярные механизмы, подобные тем, которые успешно работают в биологических клетках. Фундаментальная стратегия в этой области состоит не только в стремлении создавать нужные материалы и наноконпоненты, но и изучать принципы их действия и самоорганизации, а также использования биологических или биохимических компонентов в конкретных технических системах.

Отношение нанотехнологии к биологии нельзя рассматривать однозначно и просто, так как оно не сводится к техническому использованию биологических методов или систем. Пробле-

ма применения наносистем с биологическими принципами действия представляет огромный технический интерес, что очень ярко проявляется в разработке новейших препаратов, протезов, органов чувств и т.п. Нанобиотехнология разнообразными связями объединяет в себе многие направления (нанотехнологию вообще, уже привычную биотехнологию, биологию и смежные науки) с медициной и фармацевтикой. Кроме того, нанобиотехнологические разработки могут уже в ближайшее время найти практические применения и стать основой промышленных производств. С другой стороны, именно в этой области можно ожидать неожиданных открытий, которые в будущем могут оказать существенное воздействие на научные и технические парадигмы.

Необходимо сразу оговорить, что в литературе нет единого и четкого определения термина «нанобиотехнология», так что он отчасти лишен строгого смысла. В любом случае, нанобиотехнологию определяют не как раздел самой нанотехнологии, а скорее как некую промежуточную область между биотехнологией, медициной, чистой биологией и фармацевтикой. С нанотехнологиями (в строгом смысле этого термина) нанобиотехнологию объединяют следующие основополагающие принципы:

- методы создания структур и природные принципы синергизма;
- применение биологических элементов и материалов;
- создание комбинаций, поддерживающих или создающих биотехнологические процессы;
- реализация биосовместимых и биофункциональных материалов и процессов;
- синтез биологических элементов путем молекулярного структурирования.

Предметом изучения и исследования в нанобиотехнологии выступают, с одной стороны, технические наносистемы, а с другой — биологические системы с функциональными компонентами нанометровых масштабов. Технические или изготавливаемые человеком системы имеют большое значение в разных промышленных сферах (материаловедение, энергетика, автоматика, охрана окружающей среды и т.п.), а биотехнологические системы связаны с биологией, медициной, производством продуктов питания, агротехникой и т.п. Создание, изучение или использование биологических, и технических наносистем требует понимания фундаментальных основ физико-химических явлений и выработки соответствующих технологических стратегий. Для общего обозначения применений биологических компонентов в наносистемах используют выражение ««от био к нано»», в то время как применение технических наносистем в сочетании с биологией естественных систем называют подходом «от нано к био». Соотношения между этими подходами носят, естественно, достаточно сложный характер.

Принцип функционирования «от био к нано» можно объяснить на примере производства жидких кристаллов (используемых в дисплеях и т.п.), синтез которых осуществляется на основе белков, обладающих заданными макроскопическими свойствами (например, оптической анизотропией). Эти свойства, естественно, как-то связаны со структурой и строением исходных белков и образуются ими глобул. Исходные белки требуемого вида вполне могут быть получены известными биотехнологическими методами, а для дальнейшего производства жидких кристаллов можно воспользоваться молекулярной самоорганизацией. Такое сочетание разных подходов (нанотехнологическая задача, биотехнологическая методика и использование молекулярной самоорганизации) является типичным для нанотехнологии, основанной на переходе от «от био к нано», что обусловилось выше.

Обратный подход (то, что выше было обозначено «от нано к био») можно проиллюстрировать на следующем примере. Предположим, что мы ставим перед собой проблему дифференциации, то есть различения биологических клеток (например, столь популярных сейчас стволовых) по их реакции с биологическим окружением, но без контакта с другими клетками. Процесс дифференциации клеток во внеклеточном окружении может стимулироваться с помощью некоторых сигнальных факторов, имеющих особое строение и заданную концентрацию, поэтому стволовые клетки в пробирке действительно могут быть отделены с использованием методик, отличных от естественного окружения, причем результат такого разделения может абсолютно совпадать с естественным биологическим процессом дифференциации. Понятно, что это позволяет в принци-

пе вырастить клетки заданного вида из выделенных таким образом стволовых клеток, но находящихся не в своем естественном биологическом окружении, а в некоторой технически смоделированной, наноструктурной системе. Такая система может, например, быть создана на обработанной физико-химическими методами поверхности, которая стимулирует процесс дифференциации, вызывая соответствующие сигнальные факторы. Нужный тип клеток может быть выделен и модифицирован на основе взаимодействия между клеткой и поверхностью, если созданная функциональная поверхность может как-то симулировать воздействие биологического окружения. В этом случае техническая наносистема, то есть физически и химически функционирующая поверхность, выступает средой, организующей или даже оптимизирующей требуемые биотехнологические процессы.

Предметом нанобиотехнологии является использование технических наносистем для воздействия на биологические системы или их применение (например, за счет использования биологических процессов или компонентов для оптимизации действия технических наносистем). Направленность применяемых методик позволяет различать методы или подходы, обозначаемые для удобства терминами «от нано к био» и «от био к нано».

Использование технических наноконструктивов или систем для оптимизации биологических и биотехнологических процессов связано, в основном, со следующими областями практического применения:

- медицина и фармацевтика,
- агротехника и производство продуктов питания,
- экология и технологии, связанные с охраной окружающей среды,
- военные технологии.

Хотя во всех названных сферах уже получены весьма впечатляющие результаты исследования наноструктур, их будущая экономическая значимость может видеться по-разному. Наиболее важными и даже глобальными на ближайшее и близкое будущее представляются перспективы развития в сфере медицины и фармакологии. Очень большим и важным потенциалом применения обладают сейчас биоактивные материалы и поверхности. Так называемые биофильные материалы и поверхности способствуют росту клеток, что может, безусловно, использоваться в области биологических имплантатов, например для замены биологических тканей на внутреннем покрытии протезов кровеносных сосудов и т.п. С другой стороны, так называемые биоцидные поверхности могут стать основой для абсолютно нового подхода в области гигиены. Во всех случаях речь идет о том, что в нанобиотехнологических процессах могут использоваться не только химические свойства поверхности, а скорее, целый химико-физико-биохимический комплекс или ландшафт характеристик в нанометровом масштабе, создающий определенные функциональные свойства. Более того, следует подчеркнуть, что эти свойства и возможности никак не могут быть достигнуты только на основе привычных методов физической, химической или биохимической обработки поверхности, используемых раздельно.

Сложные наночастицы из органических и неорганических компонентов (или их разных комбинаций) могут иметь массу интересных применений в диагностике и лечении болезней. Например, некоторые частицы, биохимически активизированные на определенных поверхностях, могут выступать в качестве высокоспецифических контрастных веществ, причем использование таких частиц позволяет иногда даже преодолевать биологические барьеры организма, непроницаемые при обычных способах воздействия. Эта возможность уже используется в ряде новых терапевтических приложений, когда определенные лечебные препараты (химически связанные с поверхностью частиц или даже их внутренней структурой) транспортируются через биологические барьеры и локализуются в тех тканях и органах, куда их невозможно доставить без несущей частицы. Этот метод, именуемый направленной доставкой препаратов в организме, становится все более популярным в медицине. Применение наночастиц все чаще позволяет реализовать новые возможности влияния на организм, например создавать локальные изменения температуры (гипертермия), осуществлять высвобождение связанных лекарственных препаратов внешним воздействием и т.п.



Другое широкое поле применения нанобиотехнологий при подходе «от нано к био» заключается в изготовлении и применении биочипов. Уже возникла общая тенденция к проведению все более сложных аналитических исследований в автоматическом режиме с использованием достаточно сложных биочипов (в некоторых случаях, даже с применением микроструйных устройств и т.п.). Такой микрочип способен осуществлять целый ряд сложных подготовительных операций (транспортировка исследуемого материала, его сепарация, смешивание, обработка, а также итоговый комплексный анализ), то есть фактически выполнять работу целой лаборатории. Наличие таких чипов позволяет очень быстро и эффективно осуществлять множество процедур анализа индивидуальных организмов, что очень важно для разных практических мероприятий и задач (эта методика уже получила такое широкое распространение, что во многих работах вводят дополнительные определения, различая ДНК-чипы, белковые и клеточные чипы и т.п.). Вклад нанобиотехнологии в развитие биочипов заключается, прежде всего, в использовании наноструктурных материалов и поверхностей, а потенциал развития нанобиотехнологии в этой области представляется исключительно высоким в самом ближайшем будущем.

Еще одной областью, где подход «от нано к био» является весьма перспективным и многообещающим, является разработка очень сложных протезов для восстановления поврежденных органов чувств человека, прежде всего в сетчатке, глаза и в так называемой микроскопической улитке (структуре во внутреннем ухе человека). Создание таких имплантантов всегда представляло собой очень трудную задачу, поэтому дальнейшая миниатюризация в этой области представляется медикам исключительно важной и открывает перед ними совершенно неожиданные перспективы. С другой стороны, в изготовлении активных имплантантов все более существенную роль начинают играть новые, так называемые нефункциональные материалы, позволяющие создавать совершенно неожиданные варианты интерфейсов (переходных или связывающих устройств) между биологическими системами и окружающей средой.

Программирование клеток посредством технических систем имеет огромные перспективы. В будущем мы можем представить себе даже сложные апологические реакторы в форме биочипов, которые сделают возможным целенаправленное программирование стволовых клеток. Основой таких чипов будет наноструктурная высокофункциональная поверхность, позволяющая осуществлять желаемую дифференциацию стволовой клетки.

Большое значение также имеет вовлечение нанотехнологии для реализации абсолютно новых аналитических методов, особенно тех, которые обеспечивают конкретное исследование отдельных нанобиологических объектов. В этой связи стоит отметить растрово-зондовую методику. В области биодетекторов очень перспективными оказались микроструктурные биофункциональные элементы на основе кремния, которые могут захватываться функциональными молекулярными поверхностями так называемых кантилеверов (кронштейнами атомных размеров, типа используемых в атомно-силовых микроскопах). Присоединение чипа (с анализируемым соединением) к такому кронштейну изменяет частоту колебаний последнего, что позволяет сделать вывод о наличии соответствующих веществ. Используя массивы из множества таких микроструктурных кантилеверов параллельно, можно проанализировать исследуемые образцы на содержание огромного числа разнообразных веществ и получить перечень всех содержащихся в среде, организме или системе веществ.

В агрохимии и биотехнологии подходы типа «от нано к био» сводятся к разработке новых методов использования пестицидов и удобрений, а также к программированию клеток и выработке методов биологической борьбы с вредными веществами. В сфере технологии продуктов питания особый интерес представляет разработка совместимых методов очистки, методов оценки и оптимизации в производстве различных веществ. Инновационные экологические технологии включают в себя уничтожение, переработку или нейтрализацию вредных веществ, а также организацию экологически безопасных методов переработки отходов.

Об использовании подходов типа «от нано к био» в военных технологиях известно, конечно, не очень много, однако представляется очевидным, что по всему миру (и особенно в США) в

такие разработки вкладываются значительные средства и уже достигнуты некоторые результаты, позволяющие говорить о возможности практического применения.

На основе подхода «от нано к био» уже сегодня можно создавать новые технологии, имеющие важное экономическое значение. В первую очередь, следует упомянуть применение биофункциональных материалов и поверхностей для медицинских и биотехнологических целей, а также использование наночастиц в новейших фармацевтических методиках, основанных на биочипах и активных имплантатах. Кроме того, приобретают все большую значимость идеи и конкретные разработки новых аналитических методик, основанных на использовании нанотехнологических структур.

Самой фундаментальной, честолюбивой и долгосрочной целью в этом направлении остается использование биологических принципов и стратегий для производства технических наносистем. Биологические объекты в процессе эволюции добились замечательной эффективности и оптимальности функций, использование которых могло бы стать основой новой научной революции в технике. В качестве примера можно привести процесс самосборки (самоорганизации) известного вируса табачной мозаики. В этом конкретном случае речь идет о биологическом синтезе наночастиц в форме сложного завитка (с характерными размерами 300 нм на 18 нм), составленных из 2130 одинаковых белковых элементов, каждый из которых содержит 158 аминокислотных остатков, а нить РНК состоит из 6400 нуклеотидов. Вирус возникает в сложном биохимическом окружении и в очень неравновесных термодинамических условиях, однако частота ошибок синтеза при этом очень мала, возможно, и по той причине, что процесс порождения включает в себя некоторые механизмы корректировки и «самолечения» структур. Затраты вещества в таком процессе оптимизировано малы, а процесс производства в целом максимально эффективен. Вообще говоря, процесс сборки основан на использовании иерархически дифференцированных и высокоспецифических межмолекулярных взаимодействий. Представляется очевидным, что аналогичный технологический процесс изготовления каких-то функциональных компонентов или целых наносистем на действующих по этому принципу «молекулярных фабриках» мог бы стать абсолютно новым, универсальным и исключительно важным принципом производства. Проблема заключается именно в том, что мы очень плохо представляем себе принципы действия описываемых фундаментальных процессов, то есть еще невероятно далеки от возможности использования процессов самоорганизации для изготовления наноструктур, сравнимых по своей сложности с самым простым вирусом.

Еще одним важным направлением в подходе ««от био к нано»» является использование биологических компонентов для оптимизации технических процессов и систем. Такие компоненты реально существуют, например, в функциональных молекулах типа белков, или даже в более крупных элементах, называемых биологическими моторами. Проблема заключается в том, что любое применение таких биоконструктивных элементов предполагает их выделение из естественной биологической среды и перевод в техническую систему.

Биологические компоненты могут с успехом использоваться не только в технологиях, но и при производстве совершенно новых по составу материалов. Например, комбинации биополимеров с органическими или неорганическими наночастицами позволяют производить композиционные материалы нового типа. Многие биологические молекулы или функциональные соединения могут найти и другие потенциальные применения в разных наносистемах. В целом, подход или стратегия ««от био к нано»» имеет высокую ценность в следующих направлениях:

- информационные и коммуникационные технологии;
- изучение и использование микротекучести;
- производство энергии;
- наноматериаловедение;
- общая теория нанобиологических методов.

В сфере будущих информационных и коммуникационных технологий вполне мыслимо создание и использование архитектуры систем на принципах самоорганизации биологических молекул. Фотоэлектрические комплексы вполне могут быть включены в системы молекулярной

электроники, а сохранение информации (на основе ДНК или бактериородопсина) представляется вполне разумным и возможным. С другой стороны, математическое моделирование поведения ДНК позволяет говорить и о других применениях. Например, представляется возможным использование биологических систем для создания новых методов обеспечения безопасности, методик кодирования и защиты информации и т.п., а исследование нейронных сетей и их моделирование уже стало важной областью развития теории информационных и коммуникационных процессов.

Исследователи заняты сейчас разработкой микроскопических линейных и роторных двигателей, приводов и переключателей, работающих на биологических принципах. Такие устройства очень важны для возможных массовых производств описанных выше биочипов, в которых важную роль играет текучесть жидких сред на микроскопическом уровне (ее называют микротекучестью или микрофлюидикой). Регулирование микроскопических потоков жидких материалов имеет особое значение для следующих целей практического применения:

- направленный транспорт гормонов;
- создание наноразмерных насосов и вентиляей;
- сортировка и распределение микропотоков;
- контроль за протекающими в микросистемах реакциями;
- идентификация и учет веществ;
- сенсорные устройства (микродатчики).

Для энергетики (в особенности, при создании систем децентрализованного производства энергии) могли бы представлять интерес молекулы в виде «собирающих свет антенн» для фотохимических процессов в микрокапсулах, а также молекулярные структуры на основе известного фоточувствительного соединения АТФ (аденозин-5-трифосфат). Очень перспективным направлением является и создание различных биомиметических устройств для фотоэлектроники и преобразования света, например, создание так называемых ячеек Гретцеля, уже нашедших конкретные области применения.

В материаловедении особый интерес представляют функциональные гибридные структуры, биологические мембраны (в качестве молекулярных фильтров) и многие другие структуры. Бионаноматериалы разного типа уже сейчас начинают производиться текстильной промышленностью, например, для медицинских (биосовместимые изделия) или экологических целей (новейшие методики очистки) и т.п. Очень важную роль биологические материалы играют в развитии и широком внедрении новых типов биодатчиков для медицинской диагностики. Ведутся интенсивные исследования новых биомиметических материалов, например, на основе разнообразных блок-сополимеров.

Для общей стратегии развития в этой области представляет большой интерес тщательное изучение биологических принципов, систем и механизмов развития, особенно самоорганизации, саморепликации и «саморемонта» развивающихся структур. Потенциально очень важными являются распространенные в природе процессы биоминерализации, которые до сих пор изучены очень слабо.

Общий подход (обозначенный выше термином «от био к нано») охватывает целый ряд биологических методов и стратегий, которые потенциально представляют огромный интерес для производства технических наносистем. В будущем многочисленные и разнообразные биологические молекулы или компоненты смогут найти прямое применение в технических системах.

### **§1.6. Стандартные методы нанотехнологии.**

Любое производство материалов или их компонентов предполагает предварительную разработку соответствующих подготовительных и аналитических методов (последние нужны для оценки намечаемых и получаемых характеристик и их сравнения с заданными величинами). Разумеется, при массовом производстве подготовительные и аналитические методы должны, конечно, отвечать особым условиям, которые вовсе не требуются при изготовлении изделий в штучном или специальном производстве. Аналитические методы имеют особое значение для обеспечения эффективности производства и гарантии качества изделий.

Некоторые вспомогательные методы производства наноструктурных материалов и наночастиц уже позволяют, хотя бы частично, организовать и промышленное производство. Для более сложных структур и компонентов мы чаще всего имеем дело лишь с результатами, полученными только в лабораторных масштабах, а в отношении биологических структур стратегии развития пока базируются, главным образом, на поиске подходящих нанообъектов с целью анализа их принципов функционирования и возможностей применения.

Главная роль в исследованиях такого типа отводится аналитическим методам, которые необходимы для обнаружения и описания создаваемых или массово производимых наноструктур (прежде всего, нас должны интересовать принципы, по которым действуют биологические системы, контролирующие синтез и протекание множества вспомогательных операций). В техническом производстве при этом могут потребоваться измерения и контроль дополнительных свойств (например, измерения неоднородности поверхности с нанометровой точностью и т.п.). Проблема является достаточно сложной, так как целенаправленная разработка вспомогательных методов нанотехнологии может быть основана только на точно заданных аналитических методиках контроля. Деление методов на аналитические и подготовительные имеет очень условный смысл, поскольку они тесно переплетены друг с другом, поэтому, даже если считать, что мы в принципе не можем создать стандартные стратегии производства (наноматериалов, наночастиц или других нанообъектов), нам необходимо определиться с выработкой методов контроля.

В начале 50-х годов прошлого века американский биолог Джеймс Уотсон занимался объяснением структуры ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота). К этому времени уже было известно, что в ее строении важную роль играет так называемая  $\alpha$ -спираль, открытая знаменитым Лайнусом Полингом методами рентгеноструктурного анализа. Уотсон работал в Кембридже вместе с английским физиком Френсисом Криком у лауреата Нобелевской премии Лоренса Брэгга (создателя метода рентгеновского анализа структуры вещества вообще). Кроме этого изучением структуры ДНК занимались также в Лондоне Морис Вилкинс и Розалина Франклин. В 1953 году Уотсон и Крик определили структуру двойной спирали ДНК, которую они вывели путем сравнения данных рентгеновского анализа с предложенной ими картонной моделью. В 1962 году Уотсону, Крику и Вилкинсу была присуждена Нобелевская премия по медицине за объяснение структуры ДНК.

Анализируя кристаллы из нитей ДНК, удается обнаружить упорядоченные ансамбли, на которых рассеивается луч рентгеновского излучения, с диаметром, значительно превышающим ширину спирали (~ 2 нанометра), а изменения в интенсивности получаемой рентгенограммы позволяют воссоздать атомно-молекулярную структуру образца. Это знаменитое научное достижение было достигнуто, по существу, за счет того, что исследователям удалось создать кристаллы из ДНК и интерпретировать полученную картину в форме двойной спиральной структуры. Фактически исследования ДНК были реализованы без использования техники высокого разрешения, так как аналогичная методика уже давно успешно применялась для получения структуры кристаллов и определения параметров атомных решеток, многие из которых имели гораздо меньшие размеры (от одной десятой до нескольких десятых нанометра).

Уже сегодня нанотехнологии играют важную роль в развитии химической промышленности и разработке новых материалов. Для практического внедрения особую важность имеет развитие коммерческих производств различных наночастиц, из которых и создаются новые материалы, тонкослойные покрытия и т.п. При этом непосредственная стоимость самих наночастиц довольно незначительна по сравнению с добавочной стоимостью, возникающей при их использовании для создания новых материалов. Уже существует четко выделенный ряд товаров, специальные свойства которых базируются именно на размерных особенностях наноматериалов. Огромные перспективы имеет химия фуллеренов, открывающая возможности производства абсолютно новых материалов.

## **§1.7. Перспективные результаты развития нанотехнологии.**

### *Сверхмощные и сверхминиатюрные компьютеры*

В близком будущем можно ожидать значительного уменьшения размеров ЭВМ (одновременно с ростом их рабочих характеристик), что позволит создать сверхмалые или даже микроскопические вычислительные системы. Нанотехнологии позволяют производить транзисторы, электрический ток в которых соответствует движению очень небольшого числа электронов (от десятков до нескольких тысяч), в результате чего переключения типа включено-выключено станут возможными за счет поведения отдельных электронов. Практически это будет означать возможность уменьшения размеров электрических цепей (и больших вычислительных систем) до предельно малых размеров, а также использование в их работе новых принципов (физических закономерностей микромира, то есть квантовой механики).

Идея создания так называемого квантового компьютера возникла еще несколько десятков лет тому назад, когда сотрудники фирмы IBM Рольф Ландауэр и Чарльз Х. Бернетт предложили отказаться от применения электрических сетей и т.п. в процессах обработки информации и перейти к использованию законов квантовой механики. Компьютеры такого типа должны были отличаться от обычных исключительно малыми размерами и новыми принципами проведения вычислительных операций.

В 1980 году Поль Бениофф в Аргоннской Национальной лаборатории США сумел создать первый компьютер на основе идеи Ландауэра и Бернетта, который работал в соответствии с квантовомеханическими принципами. В дальнейшем значительный вклад в развитие квантовых компьютеров внес профессор Оксфордского Университета Дэвид Дейч, который (совместно с рядом американских и израильских ученых) начал работы по моделированию таких устройств. В частности, особое значение получили исследования квантовомеханических эффектов при сверхвысокой скорости вычислительных процессов. В настоящее время многие вопросы теории квантовых компьютеров можно считать решенными, а проблема их реализации упирается лишь в технические сложности (например, повышение надежности и т.д.). Начиная с 1980 года, исследования в этой области постоянно расширяются и углубляются.

### *Сверхчувствительные и высокостабильные биодатчики*

Действие используемых в настоящее время биологических датчиков основано, главным образом, на разнообразных специфических реакциях с участием кислорода, в результате чего происходят химические реакции, регистрируемые соответствующими электрическими сигналами. Однако следует вспомнить, что биологические молекулы вовсе не «тратят» кислород на регистрацию воспринимаемых изменений или явлений. Нанотехнологии позволяют нам создать «искусственные» молекулы, реакции которых не будут связаны с окислительными процессами.

Экология, медицина и здравоохранение все чаще требуют от ученых и инженеров разработки надежных и удобных устройств, способных осуществлять длительный контроль и мониторинг условий существования живых организмов, а также воздействия на организмы разнообразных физических и химических факторов. Речь идет, в первую очередь, о биодатчиках и получающих все большее распространение устройствах, называемых «лаборатория-на-чипе».

Пленочные или объемные биодатчики микроскопических или манометровых размеров могут вводиться внутрь живых организмов, а также «присоединяться» к заданным органам и тканям для осуществления непрерывного измерения требуемых параметров, а также для отслеживания реакций организма на различные воздействия.

Химикам и медикам давно известны разнообразные вещества, ответственные за так называемое «молекулярное распознавание». В частности, к ним относятся антитела, обладающие высокой специфичностью (то есть избирательностью), что и позволяет им осуществлять свои функции в организме. Сложность проблемы создания биодатчиков с молекулярной избирательностью по отношению к определенным белковым соединениям связана, в основном, со сложностью обеспечения длительного и надежного функционирования. Биодатчики и искусственные материалы с высокой избирательностью обычно быстро теряют способность к молекулярному распознаванию,

вследствие чего для их создания необходимо, прежде всего, научиться синтезировать молекулы, надолго сохраняющие заданные избирательность и химическое сродство. Для решения этой проблемы уже давно ведутся интенсивные исследования возможностей присоединения молекул и антител к поверхности различных полимерных материалов. На этом направлении химиками уже достигнуты значительные успехи, позволяющие надеяться на создание в близком будущем надежных и долговременных биодатчиков.

С другой стороны, в последние годы огромное внимание уделяется разработке аналитических микроустройств на стеклянных или кремниевых чипах, получивших название «лаборатория-на-чипе». Примерами таких устройств могут служить известный ДНК-биочип (размером в несколько мм) или микродатчик длительного действия для слежения за состоянием здоровья пациента, разработанный в Токийской лаборатории специальной керамики группой под руководством проф. Накаяма. Проектирование и изготовление таких биодатчиков, естественно, оказывается связанным с развитием новых методов обработки и пересылки информации из контролируемого организма, а также разработкой новых источников питания. Информация о состоянии организма должна передаваться через специальные «информационные терминалы», которые могут иметь самую различную форму (например, представляется удобным изготавливать такие устройства в виде серьги, вдеваемой в ухо пациента).

Следующим этапом развития биодатчиков является создание микроустройств, которые не только смогут отслеживать состояние организма, но и смогут, в случае острой необходимости (например, при резком ухудшении состояния здоровья), автоматически выполнить некоторые требуемые действия.

#### *Возможность создания «индивидуальных» лекарств*

Одной из основных задач современной медицины является борьба с раковыми заболеваниями. Исследования в этой области, естественно, требуют в первую очередь изучения и понимания механизмов биохимических процессов на уровне генов и белковых молекул, вследствие чего упоминавшиеся выше биодатчики должны оказаться чрезвычайно эффективным инструментом исследования и лечения. Применение вводимых в организм даже простейших биодатчиков (в сочетании с веществами, способными к молекулярному распознаванию) могло бы, например, способствовать диагностике раковых заболеваний на самой ранней стадии развития, что играет огромную роль в лечебном процессе.

С другой стороны, известно, что многие опасные болезни (в том числе рак, сахарный диабет и т.д.) обусловлены генетическими факторами. Сейчас уже очевидно, что в достаточно короткое время будут созданы и усовершенствованы так называемые ДНК-чипы, позволяющие легко осуществлять анализ генетической информации, присущей отдельному человеку, и проводить лечебный курс, соответствующий генетическому типу конкретного пациента. Завершение проекта «Геном человека» сделало принципиально возможным «считывание» генетической информации отдельного человека, что сразу позволяет поставить задачу создания «индивидуальных» лекарственных препаратов (в соответствии с этой информацией). Анализ генетической информации позволяет говорить и о возможности создания препаратов с «узконаправленным», точечным эффектом. Тем самым возникает медицина, основанная на индивидуальном (в буквальном смысле этого слова) подходе к пациенту.

Далее, уже давно осуществляются попытки организации так называемой «адресной» доставки лекарств в организме, при которой препараты переносятся в нужные органы или ткани при помощи молекул-носителей. Более того, в настоящее время две крупные японские медицинские организации (Центр изучения женских и детских болезней при Токийском Университете и Токийский Университет Рикадай) проводят испытания «носителя», получившего название «высокомолекулярная мицелла», который имеет размеры около 40 нм и по структуре напоминает модель вируса. В экспериментах мышам вкалывают указанную высокомолекулярную мицеллу, которая является «носителем» нового антиракового препарата (адримицин). Попадая в раковые клетки, препарат способствует их гибели. Уже полученные результаты можно назвать блестящими.

В настоящее время большой интерес вызывают медицинские исследования в области омолаживания организма и его «регенерации». В частности, особое внимание уделяется так называемым эмбриональным стволовым клеткам, которые способны в развитии превратиться в клетки различных органов организма (в клетки нервной системы, сердечной мышцы и т.п.). Процессы превращения связаны с механизмами самосборки клеточных структур. Использование стволовых клеток не только позволяет восстанавливать поврежденные органы, но и создает совершенно новые возможности для медицины в целом.

### *Нанотехнология и сельское хозяйство*

За последнее столетие население Земли увеличилось примерно в 4 раза и к 1999 году составляло уже 6 миллиардов человек. Если существующие темпы роста населения сохранятся, то (по прогнозам экспертов Организации Объединенных Наций) численность населения нашей планеты может возрасти к 2050 году до 100 миллиардов человек! Естественно, что столь резкий рост вызвал острейшую проблему обеспечения населения продовольствием. Уже сейчас в слаборазвитых странах каждый год от нехватки питания умирают от нескольких сотен тысяч до нескольких миллионов человек. Кроме того, рост населения вызывает и другие негативные последствия (урбанизацию, уничтожение лесных массивов, увеличение площади пустынь, постоянное уменьшение площади пахотных земель в мире и т.д.). В будущем эти серьезнейшие экологические и социальные проблемы, связанные с ростом народонаселения, будут только обостряться и усложняться.

Обеспечение стабильного и достаточного уровня производства продуктов питания требует, в первую очередь, увеличения площади посевов и повышения урожайности сельскохозяйственных культур, то есть развития новых методов ведения сельского хозяйства. Речь идет, с одной стороны, о методах культивации засушливых или непригодных для сельского хозяйства земель, а с другой — о повышении производительности уже существующих угодий в глобальных масштабах.

Развитие нанотехнологии обещает создать новые и весьма перспективные возможности для решения указанных проблем. Прежде всего, следует отметить потенциал так называемой генной технологии, позволяющей генетически модифицировать многие сельскохозяйственные культуры и не только повысить их урожайность, но и сделать их более устойчивыми к сорнякам и вредителям. Получение максимальной урожайности с каждого участка сельскохозяйственных угодий позволило бы реально решить проблему нехватки продовольствия во многих странах. Кроме этого, можно надеяться и на то, что генная модификация позволит нам значительно повысить питательную ценность выращиваемых продуктов (то есть получать продукты с большей калорийностью). Известно, например, что генетическая модификация соевых бобов позволяет значительно поднять их питательную ценность.

### *Медицина и фармакология*

Нанобиотехнология возникает на границе нанотехнологии и биотехнологии, поэтому следует разграничивать направления «био-к-нано» и «нано-к-био», для наиболее эффективного использования принципов биологии (молекулярная самоорганизация, биологическое исправление дефектов и т.п.) и биологических компонентов (молекулярные двигатели, биофункциональные молекулы и т.п.) в технических системах. Проблема заключается в рациональном внедрении нанотехнологических методов и материалов при манипуляциях с биологическими системами, а также в разработке биосовместимых поверхностей раздела, особенно для уже получившей известность системы направленной доставки лекарственных препаратов внутри организма.

Направление от «био-к-нано» связано, в основном, с научными исследованиями, в то время как в области разработок от «нано-к-био» существует уже целый ряд промышленно значимых проектов. Собственно говоря, в медицине уже давно используются препараты, которые по сегодняшним понятиям следует относить к нанотехнологии, поэтому, образно говоря, следует задуматься о том, чтобы снабдить биокатализаторы «фразумом», то есть придумать методику, при которой требуемые лекарственные препараты получили бы способность самостоятельно, направ-

ленно и специфически «добираться» до предназначенного места или органа. Преимущества такого подхода очевидны, так как медикаменты действуют при этом лишь на ограниченную заболеванием область, а не на весь организм в целом. Уже давно в медицине с этой целью используются липосомы (для химиотерапии), а также нуклеиновые кислоты при генной терапии. Напомним, что липосомы могут представлять собой искусственно изготовляемые «транспортные средства», которые могут быть «нагружены» различными биокатализаторами или другими лекарственными препаратами, которые при этом почти не восприимчивы к внешним воздействиям (для описания целенаправленного связывания препарата внутри молекулы или структуры возник даже специальный термин «капсулирование»). Этот подход позволяет во многом решить очень старую и важную проблему медицины и фармакологии, связанную с введением в организм водонерастворимых препаратов. Более того, применение наносистем для направленной доставки препаратов в организме позволяет решить и более сложную задачу, а именно -регулирование поступления препарата в кровь для продления его действия или снижения токсичности (например, за счет изменения поверхности и т.п.). Строение и свойства липосом можно варьировать, изменяя внешние условия (например, при некоторых значениях pH они начинают пропускать воду, что позволяет как-то управлять процессами выделения биоактивных препаратов). В настоящее время с этой целью разрабатывается целый ряд наночастиц (включая неорганические), на основе которых скоро будут выпускаться коммерческие продукты. Возможность преодоления биологических барьеров организма за счет использования «носителей» и целевая доставка препаратов в требуемые органы и ткани делают наночастицы очень перспективным материалом для диагностики. Например, с помощью специальных «молекул-акцепторов», которые специфически связываются с раковыми клетками, можно точно локализовать опухолевые образования, используя для регистрации этих молекул методы рентгеновского, магнитно-резонансного или радиоактивного контраста.

Еще одно широкое направление в подходе от «нано-к-био» связано с разработками биофункциональных и биосовместимых конструкционных материалов, в частности для столь популярных сейчас имплантантов. Новые материалы позволяют обеспечивать лучшее механическое закрепление имплантантов, препятствуют накоплению биологического материала в протезах кровеносных сосудов и т.п.

Все большую ценность приобретают так называемые биоцидные материалы. Например, еще 3000 лет назад было известно, что серебро обладает биоцидным и бактерицидным действием, а сегодня уже точно известно, что положительно заряженные ионы серебра разрушают ферменты, доставляют питательные вещества в клетки, дестабилизируют элементы клеток (мембрану, плазму и оболочку), а также нарушают процессы деления клетки. Биоцидный эффект наночастиц серебра зачастую превосходит действие антибиотиков, и уже сейчас создаются на неструктурные серебряные покрытия для медицинских инструментов, а также других связанных с медициной и гигиеной изделий (производство продуктов питания, домашнее хозяйство, косметическая промышленность, текстильные волокна, фильтры и т.п.).

Стоматология — еще одна сфера применения инновационных нанотехнологических продуктов. Чистка зубов сводится к сложному процессу шлифовки, в котором важно, чтобы средство шлифовки было мягче зубной эмали, но тверже загрязняющих частиц. Медики возлагают большие надежды на создание новых паст, позволяющих не только очищать поверхность зубной эмали, но и способствовать ее эффективной регенерации.

Наряду с названными конкретными применениями, существуют и другие, весьма перспективные возможности создания имплантируемых систем из наноструктур для различных медицинских целей, включая управляемое выделение препаратов и непрерывный контроль за медико-биологическими показателями человеческого организма. По мнению экспертов, в ближайшие пять-десять лет в подходе от «нано-к-био» будут реально осуществлены следующие существенные разработки:

- наноразмерные биодатчики будут использоваться для измерения физических параметров внутри организма с целью диагностики и управления терапевтическими мерами извне;



- имплантируемые, вживляемые или вводимые в кровеносную систему биочипы, управляемые извне, позволят контролировать продолжительность и механизм действия биологически активных веществ и катализаторов;

- микроскопические устройства и датчики сложного типа (включающие в себя наноразмерные клапаны, насосы, манипуляторы и т.п.) можно будет не только вводить внутрь организма, но и управлять ими извне, используя электронику;

- наночастицы с введенными в них препаратами сделают возможной точную доставку и выделение требуемых лекарственных соединений, а также позволят получать подробную информацию о состоянии пораженных органов и тканей. В качестве связующих, носителей и маркеров станут применяться изотопы или магнитные частицы, обнаруживаемые при помощи магнитно-резонансной томографии;

- наноструктурные биокатализаторы станут основой новых покрытий, а также материалов, обеспечивающих биосовместимость тканей организма с протезами или имплантатами.

Многие проекты в подходе «от био к нано» еще остаются далекими от реализации. Идея подхода состоит в подражании принципам строения биологических систем и создания на этой основе новых материалов или устройств. Иными словами, в этом подходе исследователи пытаются воспроизвести технически те достижения и материалы, которые были выработаны природой за огромные времена биологической эволюции. Например, давно известно, что нити паутины (синтезируемой пауками из протеинов и воды) обладают невероятной прочностью (примерно в 100 раз превосходящей прочность стали!) и столь же невероятной способностью к растяжению (примерно в 40 раз превосходящей растяжимость нейлона!).

В медицине и фармакологии уже возникло много вариантов практического использования наноструктур, так что потенциал роста нанотехнологии выглядит весьма внушительно. В настоящее время для промышленности основной интерес представляют разработки на основе подхода от «нано-к-био», в то время как применения типа от «био-к-нано» будут реализованы, по всей вероятности, лишь в будущем. Нанотехнология может извлечь много примеров для подражания в так называемой бионике. Основные перспективы развития нанотехнологии сегодня связаны с созданием новых биологических (точнее, биофункциональных) материалов, а также частиц и устройств на их основе.

#### *Точная механика и оптика*

Производство приборов точной механики и оптики относится к важнейшим отраслям промышленности Германии. Ее годовой товарооборот составляет около 31 миллиарда евро, причем в структуре отрасли преобладают предприятия мелкого и среднего бизнеса (около 2500 фирм с числом сотрудников около 216 000). К этой отрасли относятся многие высокотехнологические производства, включая выпуск лазерной, лабораторной, фототехнической и медицинской аппаратуры. Производство обладает очень высоким потенциалом развития и внедрения инновационных технологий, особенно в области новейших оптических технологий, традиционно успешно занимается экспортом (более 50% товарооборота), а занятые в нем фирмы проявляют активную инновационную динамику (в 2003 году на исследования и разработки было потрачено примерно 9% товарооборота).

Можно ожидать, что ключевую роль в XXI веке будут иметь оптические технологии, поскольку они будут связаны не только с коммуникациями и информационными технологиями, но и с медициной, генными технологиями, транспортом, производственными процессами и т.д. Стоит особо отметить, что оптические устройства, несмотря на свою небольшую стоимость, часто играют ключевую роль во многих технологиях, приборах и устройствах. Соответствующие технологии были созданы лишь после того, как удалось организовать производство недорогих полупроводниковых лазеров.

Использование оптических устройств играет огромную роль в фармацевтической и химической промышленности. Дело в том, что в наше время разработка нового лечебного препарата занимает в среднем 10-15 лет и требует расходов в миллионы долларов. Эти расходы объясняются

необходимостью проведения длительных и сложных исследований, но создаваемые нанотехнологиями возможности сканирования и изучения веществ с использованием оптически регистрируемых биомаркеров позволяют уже сегодня осуществлять тестирование миллионов веществ за несколько дней при минимальном расходе реагентов. Такими методами уже широко пользуются специалисты в так называемой комбинаторной химии, а широкое внедрение высокопроизводительных методик исследования должно привести к существенному снижению расходов на разработку и тестирование новых химических и фармакологических продуктов.

При любом развитии новых технологий возникает весьма важная проблема изменений структуры рынка рабочей силы и обеспечения структуры подготовки соответствующих кадров. Развитие нанотехнологических производств требует наличия квалифицированной рабочей силы, потребность в которой явно не может быть удовлетворена в ближайшее время. Речь идет не только о научных специалистах и инженерах с высшим образованием, но и о специально обученных техниках и лаборантах, а также работниках, связанных со смежными областями науки и техники.

Достаточно точно предсказать развитие рынка нанотехнологии на ближайшее время почти невозможно, прежде всего, из-за того, что нанотехнологии не являются следствием естественного развития (образно говоря, «почкования») классических отраслей промышленности. Нанотехнологии формально не имеет единой технологической платформы, что затрудняет даже простую оценку доли таких технологий в создании цепочки добавочной стоимости производства. Поэтому результаты отдельных исследований состояния рынка нанотехнологий расходятся, хотя общий вывод состоит в признании высокой значимости нанотехнологии для государственной экономики и народного хозяйства. Не стоит также недооценивать роль нанотехнологии в смешанных производствах (вторичный рынок поставок) материалов и устройств. Развитие нанотехнологии, безусловно, должно быть связано с изменениями в рынке рабочей силы и системе образования.

### **§1.8. Социально-экономические последствия развития нанотехнологии.**

Многие эксперты ожидают, что развитие нанотехнологии приведет к новой научно-технической и промышленной революции, последствия которой коснутся в будущем многих сфер общественной жизни, включая технику, методы коммуникации, экологию, здравоохранение, глобальную связь и т.д. Пока можно лишь в общих чертах предсказывать влияние нанотехнологии на развитие различных областей техники и экономики, но уже сегодня эта проблема стала предметом обширной (и, возможно, преждевременной) дискуссии о будущем воздействии атомарных технологий на жизнь и глобальные условия существования человечества. Результаты широко развернувшейся дискуссии имеют ценность в качестве основы принятия решений для инвесторов, но влияют и на выработку общественного отношения по отношению к принятию некоторых глобальных и решительных мер. Речь идет не только о политически обусловленной поддержке ведущих разработок на национальном и международном уровне, но и о выработке необходимых правовых норм для сохранения человечества и защиты окружающей среды. Это означает, например, что следует разработать и тщательно проверить юридические права, касающиеся защиты труда, выбросов в окружающую среду и охраны природы при использовании нанотехнологии. Такие исследования должны относиться, несомненно, не только к синтезу и применению используемых в промышленности наночастиц, но и к множеству биомедицинских приложений нанотехнологии. Необходима дальнейшая разработка существующих законодательств, относящихся к очень сложным проблемам биотехнологии, особенно в сфере этических и правовых норм.

Особым предметом для размышлений и исследований являются общие условия практического использования нанотехнологий. Необходимо ли вводить в законы изменения, непосредственно относящиеся к их внедрению? Требуется ли при этом выработка каких-либо международных правил, законов и стандартов? Роль последних особенно возрастает при реализации конкретных результатов инновационных разработок в промышленных производствах. Стандартизация приобретает особое значение в сфере международной промышленной конкуренции, где постоянно приходится сравнивать качества товаров на основе разных показателей. Разработка международных норм должна, безусловно, способствовать развитию мировой торговли материалами

и изделиями нанотехнологии, а также увеличению инвестиций в такие коммерческие производства.

Новые технологии типа нанотехнологии требуют новых знаний и новых навыков от работников во всех звеньях производства и создания добавочной стоимости. Это означает, что развитие нанотехнологии связаны не только с созданием соответствующей научной и экономической обстановки, но и с наличием квалифицированных технических сотрудников на всех этапах производства.

Многие авторы считают возможным возникновение новой глобальной угрозы существованию человечеству, а другие полагают, что нанотехнологии значительно усугубит те серьезные научно-технические проблемы, которые уже существуют. Например, многие опасаются, что наночастицы будут попадать в так называемую «цепочку питания» человека, в результате чего они начнут скапливаться в организме неконтролируемым образом, что может вызвать сбои в работе иммунной системы и т.п. Первые токсикологические исследования выявили наличие некоторых эффектов, связанных с нанометровыми размерами частиц, однако полученные данные являются, очевидно, недостаточными и получены лишь для очень короткого времени воздействия.

Реальная опасность может заключаться в том, что мы просто «не успеем» вовремя провести оценки и выработать меры предосторожности. Многие эксперты исходят из того, что политическая дискуссия относительно оценки возможных последствий нанотехнологии «отстает» примерно на пять лет от реального технологического развития. Помимо медицины, очень важное значение могут иметь социальные последствия внедрения нанотехнологии, причем далее в международной торговле. Например, развитие нанотехнологии может привести к значительному изменению структуры существующего рынка сырья и товаров. Может исчезнуть потребность в некоторых видах товаров, что будет иметь, например, драматические последствия для развивающихся стран, зависящих от экспорта своего сырья. Различие подходов к существующей опасности может привести к существенному изменению в распределении промышленных структур в разных странах. Если в некоторых странах законодательство будет требовать строжайшего контроля над технологией производства наночастиц (например, как с опасными вирусами), а в других - меры предосторожности сведутся к надеванию марлевых повязок, то можно ожидать перераспределения промышленных мощностей в значительных масштабах.

В любом случае нам следует вспомнить опыт развития ядерной техники, генной инженерии и т.п., то есть воспринимать предостережения и предупреждения об опасности вполне серьезно. Легкомысленность в оценке будущего является крайне опасной, так как наше социальное поведение практически никогда не «успевает» за технологическим развитием.

Серьезные опасности для человечества вообще могут быть связаны с использованием нанотехнологии в военных технологиях, что может иметь непредсказуемые последствия. Исследования возможностей применения нанотехнологии в военных целях в последние годы расширились. Пока речь идет конкретно о повышении функциональности военного обмундирования, методов контроля, повышении прочности деталей, а также повышении уровня медико-биологического обслуживания личного персонала.

Наночастицы проявляют сложные биологические характеристики, и на сегодня невозможно предсказать, как они будут вести себя в окружающей среде или после попадания в живые организмы. Необходимо проведение серьезных экологических и токсикологических исследований. Несвоевременная оценка значимости и опасности развития нанотехнологии может снизить положительный эффект от внедрения новых технологий или даже нанести вред экономике отдельных стран.

### **§1.9. Этические аспекты.**

Нанотехнологии можно рассматривать как одни из самых важнейших и ключевых технологий XXI века. Новые фундаментальные знания в этой области и возможности практического развития нанотехнологии в исследовании наноструктуры и технологический поворот в методах производства продукции буквально зачаровывают, обещаая фантастические преобразования в эко-

номике и общественной жизни. С другой стороны, представляется крайне важным, чтобы (наряду с дальнейшим развитием междисциплинарной научно-естественной и технической основы нанотехнологии) процесс внедрения новой технологии сопровождался критической дискуссией по вопросам этики, которая позволит выработать правильные решения и предостеречь возможные опасности. Как всякая другая область науки и техники, нанотехнологии потенциально чреваты риском неправильного применения, созданием новых социально-экономических или этических конфликтов и т.п. В настоящее время наблюдается острый интерес общественности к проблемам, связанным с возможностями развития нанотехнологий и их широкого применения в технике, быту, социальной жизни и т.д.

В профессиональной среде уже выработан термин наноэтика, но пока речь идет лишь о формальном признании наличия этических проблем, связанных с нанотехнологии. Систематические исследования по этой теме отсутствуют, так что пока можно лишь констатировать интуитивное и бессистемное осознание этической значимости нанотехнологии. Некоторые общественные группы интересов связывают этически релевантные аспекты с областью возможных рисков развития новой технологии. С точки зрения профессиональной этики и социологии нам необходимо проанализировать в целом реальное и предполагаемое развитие нанотехнологии и ответить на следующие вопросы. В чем, собственно, заключаются этические проблемы нанотехнологии? Какие ответы уже получены в процессе проводимых дискуссий? Какие вопросы (например, отличные от проблем биоэтики) возникают в связи с развитием нанотехнологии? Можно ли сформулировать новые вопросы?

Вопросы этики очень часто возникают в технике, биологии, медицине, антропологии и даже в философии науки вообще, поскольку они связаны с проблемами воздействия научно-технического прогресса на человечество. Они возникают при оценке роли и длительности научных достижений, рисков развития и многих других проблем, возникающих в «точках», где деятельность оказывается связанной с «пересечением» или взаимодействием между человеком и техникой (или, другими словами, даже между живой и технологической природой). Поэтому многие этически значимые аспекты нанотехнологии не являются новыми и не связаны конкретно с нанотехнологиями. Новым является столкновение различных традиционных линий этического поведения ученых, что может быть связано непосредственно с многосторонностью и междисциплинарным характером самой нанотехнологии, которая объединяет в себе многие направления и тенденции науки, включая инженерно-научные, медицинские и фармацевтические, не говоря уже о широком спектре возможных применений.

Оценки технических последствий и этических проблем, связанных со стремительным и широким развитием нанотехнологии, могут быть получены при эффективно организованном общественном обсуждении, необходимом при внедрении новых технологий. Этические суждения и оценки могут дать ориентиры развития техники, например, в отношении вопросов справедливости распределения возникающих возможностей и рисков. В дальнейшем процессе конкретного внедрения нанотехнологии абстрактные идеи приобретут конкретную форму и позволят нам осмыслить и этически новую ситуацию.

В истории техники и науки развитие новых идей и технологий очень часто вызывало «соревнование» новых социальных и этических теорий или учений. В связи с этим, можно лишь подчеркнуть, что выделяемые на изучение общественного мнения и восприятия средства являются очень незначительными. Изучение этических проблем нанотехнологии могло быть увязано с исследованием отношения общественности к известному проекту «Геном человека». Эксперты-философы уверены, что существующий «разрыв» между научными достижениями и общественной моралью можно значительно сократить, используя дискуссии и широкий обмен информацией. Возобновление организованной ранее в Германии этической дискуссии (получившей название «этической паутины») по вопросам нанотехнологии позволило бы уточнить существующие проблемы. Дискуссия затрагивала следующие ключевые вопросы, связанные с развитием науки и техники вообще. В чем заключаются этические аспекты науки в настоящее время? В чем заключаются конкретно этические аспекты нанотехнологии? Являются ли они специфичными только

для данной технологии? Лишь получив ответ на эти вопросы, мы сможем судить о том, насколько оправдана потребность в существовании нанотехнологии (как самостоятельной науки или раздела философии науки). Для конкретизации рассматриваемых проблем ниже предлагается список некоторых основных понятий нанотехнологии, каждое из которых, как будет видно из текста, действительно требует хотя бы какой-то оценки и обсуждения на основе этических соображений и доводов.

### *Наночастицы*

Как уже отмечалось, получаемые искусственным путем наночастицы будут проникать в человеческий организм или окружающую среду (при производстве, использовании изделий или их утилизации), а также преодолевать большие расстояния и распределяться диффузно. Способы распространения наночастиц в природе и их воздействие на здоровье человека и состояние среды почти не изучены, особенно в отношении потенциальных и долгосрочных последствий. Стоит подчеркнуть такие особенности наночастиц, как мобильность, химическая активность, способность проникать в легкие человека и растворимость. На это можно возразить, что вопросы экологии и токсичности относятся, конечно, не столько к этике, сколько к точным научным дисциплинам (типа медицинской токсикологии и химии), вследствие чего существующие законы, директивы и предписания относительно обращения с опасными веществами нуждаются скорее в юридическом обосновании, а не в философско-этическом анализе.

Однако этически значимые вопросы возникают, например, в тех случаях, когда мы начинаем обсуждать возможные риски для людей, которым в будущем придется работать с наночастицами, а также меры возможной профилактики. Неясно, должны ли мы рассматривать возникающую опасность в качестве совершенно нового фактора или будем рассматривать ее в качестве варианта известной проблемы «асбестовой пыли». Иными словами, создает ли нанотехнологии действительно новую проблему? Некоторые общественные деятели уже требовали ввести мораторий на использование наночастиц вообще, но при этом остается неясным, можно ли вообще искать решение проблемы, пытаясь оценивать риски и преимущества производства.

С одной стороны, существенно, что прогнозы рисков являются очень неясными, но с другой - мы не можем оценить ущерб, связанный с введением предлагаемого полного запрета (моратория) на использование наночастиц. Оценка приводит к сравнению рисков и шансов, носящих совершенно разный характер; так, неясно, в какой мере мы можем реально оценить вред и риск использования наночастиц, исходя из опыта работы с новыми химическими веществами и медикаментами. Этическая проблема, связанная с использованием наночастиц, заключается в оценке потенциалов использования и рисков на основе недостаточного набора данных и точных знаний.

Проблемы справедливости распределения связаны также с тем, что очень часто технический прогресс усиливает неравномерность социального развития. Например, высокотехнологические нанотехнологии могут оказаться доступными лишь небольшому числу стран с развитой научной базой, в результате чего научно-техническая революция приведет лишь к дальнейшему углублению раскола мира между богатыми и бедными государствами.

Особым примером неравномерного распределения благ может стать основанная на нанотехнологиях медицина. Уже сейчас в очень многих странах наблюдается огромный разрыв в медицинском обслуживании различных слоев населения. Развитие высокотехнологичной медицины на основе нанотехнологии может значительно усугубить социальное неравенство, так как создаваемые эффективные лекарства, с весьма большой вероятностью, будут дорогими. В распределении благ возникнет новое неравенство, для описания которого можно даже ввести термин нанораспределение (напоминающий цифровое распределение, используемое для описания неравенства в потреблении цифровой бытовой техники). Впрочем, проблемы справедливого распределения достижений науки, вообще говоря, относятся к важнейшим этическим аспектам современной жизни и, таким образом, не являются наноспецифическими. Можно лишь отметить, что ускоренная динамика развития нанотехнологии делает уже существующие проблемы еще более насущными и острыми.

Особенно уязвимым в отношении нарушений прав личности является состояние здоровья человека. Технологии типа лаборатория на чипе позволяют осуществлять анализ, а также строить прогнозы и диагнозы для огромного числа пациентов, непрерывно создавая массовые базы данных о здоровье населения. Это делает технически возможным массовое экранирование (то есть проверку) личной генетической предрасположенности, что может быть использовано, например, работодателями или страховыми компаниями. Без достаточной защиты сведений о частной жизни можно будет очень легко манипулировать отдельными гражданами и целыми группами населения, что делает уязвимыми их гражданские права и свободу действий. Общество должно выяснить, как следует обращаться с результатами медицинских исследований, особенно при тяжелых заболеваниях или (еще сложнее!) при возможности прогноза таких заболеваний. Создание достаточно точного диагноза всегда было серьезной этической проблемой для врачей, но сейчас этические вопросы затрагивают даже права на знание генетической предрасположенности и т.п., что уже стало предметом ожесточенной дискуссии в среде медиков, занятых биотехнологиями. Проблемы сохранения прав личности, врачебной тайны, защиты банков медицинских данных и сложных социальных последствий нарушения этих норм известны уже давно, а развитие нанотехнологии лишь возвращает нас к этим темам, заставляя рассматривать их более серьезно и внимательно.

#### *Медицинские сферы применения*

По-видимому, медицина и фармакология являются теми областями науки, где специалисты наиболее четко пытались и продолжают пытаться регламентировать отношение к рискам и экспериментам. Развитие в последние годы технологии типа лаборатория на чипе способствуют укреплению традиций и подходов так называемой индивидуальной медицины, так что развитие новых технологий задает новый стимул классическим вопросам медицинской этики, даже тогда, когда речь не идет о принципиально новых этических вопросах.

С другой стороны, внедрение нанотехнологий обещает привести к весьма значительному увеличению продолжительности человеческой жизни, что сразу создает множество этических проблем. Например, с этических позиций совершенно неясно, что следует понимать под качеством жизни, учитывая утопические возможности бесконечного существования. Сценарии будущего, заключающиеся в том, что при несчастных случаях или заболеваниях можно будет просто вводить организм в «стационарное» состояние, то есть прекращать в нем все процессы до молекулярного уровня, вновь поднимают вопросы об этических границах применения новых технологий.

В области медицинского применения, несомненно, главенствующей этической проблемой является определение целесообразных границ возможного вмешательства в работу организма, предполагающего, с одной стороны, гарантии, что этические принципы не будут выработаны слишком поздно, а с другой, - они сохраняют свою практическую значимость.

#### *Преодоление границы между техникой и человеком*

Прогресс в области нанотехнологии позволяет по-новому контролировать многие биотехнологические процессы, например, за счет сочетания естественных биологических процессов с техническими операциями. Любое такое применение нанотехнологии стирает классическую границу между техническими и живыми (биологическими) системами, что подразумевает создание интерфейсов (поверхностей раздела, стыков) между живыми и техническими системами и возможность объединения различных по существу элементов. Именно в этой области развития нанотехнологии, возможно, следует ожидать возникновения особо сложных этических аспектов нового типа, а также (что имеет особую важность) необходимость анализа ошибок во многих разработках прошлых лет.

Очень важной областью нанобиотехнологии в настоящее время является создание нанoeлектронных нейронных имплантантов. Прогресс в экспериментальной технике работы с нейронами (и процессами передачи информации в них) уже позволяет создать имплантанты, размеры и

возможности которых близки к параметрам естественных систем и к их мощности. Этические проблемы в этом отношении, главным образом, состоят в распознавании и предотвращении возможного злоупотребления, так как технический доступ к нервной системе позволяет создать множество систем вероятных манипуляций и контроля над поведением человека.

Продолжением дискуссий в области этики стали размышления о мыслимых рамках создания и поведения киборгов, то есть искусственно создаваемых сочетаний человека с развитыми техническими системами, что связано с вопросами высокой этической значимости представлений о естестве человека. В футуристических построениях предсказывается, прежде всего, информационно-техническое сохранение человеческого сознания, что сразу заставляет задуматься о том, может ли претендовать на статус человека техническое (соответственно, отчасти техническое или частично биологически сконструированное) существо типа «машина-человек». Формальное определение такого существа требует решения целого ряда сложнейших вопросов, касающихся основ антропологии и этики. Специфическим проявлением нанотехнологии в этой проблеме выступает то, что именно нанотехнологии позволяют осуществить особым образом конвергенцию наук и технологий на основе принципов синергизма.

#### *Техническое совершенствование человека*

Стремление совершенствовать свой организм возникло у человека еще на заре истории, однако сейчас нанотехнологии в комбинации с биотехнологией и медициной делают это желание вполне реализуемым. Многие применения нанотехнологии действительно заставляют задуматься о коренном преобразовании человеческого организма на основе новых технических достижений. В настоящее время серьезно обсуждаются вопросы замены тканей и целых органов, а также восстановление и расширение возможностей восприятия с использованием так называемых нейроримплантантов. В отличие от классической медицины, нанотехнологии обещает не только совершенствовать организм, но и принципиально перестраивать человеческое тело, подобно тому, как мы «ремонтим» автомобили, добавляя в них новые детали. Методы достижения идеального состояния здорового организма постепенно совершенствуются и превращаются в методы расширения физических или психических способностей человека. Например, сейчас рассматривается возможность прямого присоединения человеческого мозга к компьютеру, что позволило бы человеку перерабатывать информацию с использованием ресурсов ЭВМ. С другой стороны, существует и возможность совершенствования организма с использованием разнообразных биологических систем.

Нанотехнологии открывает новые перспективы «денатурализации» человеческого организма, значительно более широкие, чем те, которые уже достигнуты современными био- и генными технологиями. Грань между лечением и совершенствованием организма, вообще говоря, является очень условной, хотя бы потому, что мы до сих пор не имеем точных определений терминов «здоровье» и «болезнь». В соответствии со стандартным определением понятия «здоровье» по версии ВОЗ (Всемирная организация здравоохранения), оно означает состояние полной удовлетворенности физическим, психическим и социальным самочувствием, а не отсутствие заболевания или увечья. Строго говоря, старость можно считать специфической болезнью, с которой следует бороться медицинскими средствами, подобно тому, как мы боремся с гриппом. Это позволяет даже определить первой целью новой (назовем ее нанотехнологически ориентированной) медицины постепенную «отмену» процессов старения и смерти вообще. Не стоит даже говорить о том, с какими сложными этическими проблемами столкнутся исследователи и общество при реализации этой задачи. Возможно, нам следовало бы задуматься об этом уже сейчас, создавая этические и юридические нормы «про запас».

В развитии нанотехнологии следует придавать особое значение проблемам безопасности. Исследователи и технологи должны проникнуться духом ответственности, соблюдать этические нормы и тщательно изучать любые потенциальные опасности, связанные с новыми технологиями, особенно относящиеся к здоровью людей, безопасности и охране окружающей среды. Необходимо упорядочить относящиеся к нанотехнологии законодательные акты с учетом мнения обще-

ственности и прогнозов развития. Особое внимание должно быть уделено информированию общественности и социальных групп, а также проведению серьезных дискуссий, чтобы обсуждение реальных проблем нанотехнологии не превращалось в рассмотрение интересных и занимательных научно-фантастических сценариев.

### §1.10. Конвергентные технологии.

Процесс развития науки - если описать его в самых общих чертах - начинается с появления множества отдельных, не связанных между собой областей знания. Позже началось объединение областей знания в более крупные комплексы, а по мере их расширения снова проявила себя тенденция к специализации. Технологии же всегда развивались взаимосвязано, и, как правило, прорывы в одной области были связаны с достижениями в других областях. При этом развитие технологий обычно определялось в течение длительных периодов каким-либо одним ключевым открытием или прогрессом в одной области. Так, можно выделить открытие металлургии, использование силы пара, открытие электричества и т.п.

Сегодня же, благодаря ускорению научно-технического прогресса, мы наблюдаем пересечение во времени целого ряда волн научно-технической революции. В частности, можно выделить идущую с 80-х годов XX столетия революцию в области информационных и коммуникационных технологий, последовавшую за ней биотехнологическую революцию, недавно начавшуюся революцию в области нанотехнологий. Также нельзя обойти вниманием имеющий место в последнее десятилетие бурный прогресс развития когнитивной науки.

Особенно интересным и значимым представляется взаимодействие именно информационных технологий, биотехнологий, нанотехнологий и когнитивной науки. Данное явление, не так давно замеченное исследователями, получило название **NBIC-конвергенции** (по первым буквам областей: N -нано; B -био; I -инфо; C -когно). Термин введен в 2002 г. Михаилом Роко и Уильямом Бейнбриджем, авторами наиболее значительной в этом направлении на данный момент работы, «Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information technology and Cognitive science», подготовленного 2002 г. в Всемирном центре оценки технологий (WTEC). Работа посвящена раскрытию особенности NBIC-конвергенции, ее значению в общем ходе развития мировой цивилизации, а также ее эволюционному и культурообразующему значению.

Визуализация NBIC-конвергенции стала возможна, когда, базируясь на анализе научных публикаций и используя метод визуализации, основанный на взаимном цитировании и кластерном анализе, была построена схема сети пересечений новейших технологий.

Расположенные на периферии схемы основные области новейших технологий образуют пространства взаимных пересечений. На этих стыках используются инструменты и наработки одной области для продвижения другой. Кроме того, учеными иногда обнаруживается сходство изучаемых объектов, принадлежащих разным областям.

Из четырех описываемых областей наиболее развитая (информационно-коммуникационные технологии) на данный момент чаще всего поставляет инструменты для развития других. В частности, это возможность компьютерного моделирования различных процессов. Биотехнология также дает инструментарий и теоретическую основу для нанотехнологий и когнитивной науки, и даже - для развития компьютерных технологий.

Действительно, взаимодействие нано- и биотехнологий (также, как и остальных составляющих схемы, и это будет показано ниже) является двусторонним. Биологические системы дали ряд инструментов для строительства наноструктур. Например, созданы особые последовательности ДНК, которые заставляют синтезированную молекулу ДНК сворачиваться в двумерные и трехмерные структуры любой конфигурации. Подобные структуры могут быть использованы, например, в качестве «лесов» для строительства нанообъектов. В перспективе видна возможность синтеза белков, выполняющих заданные функции по манипуляции веществом на наноровне. Были продемонстрированы и обратные возможности, например, модификация формы белковой молекулы с помощью механического воздействия (фиксация «наноскобой»). Нанотехнологии



приведут к возникновению и развитию новой отрасли, наномедицины: комплекса технологий, позволяющих управлять биологическими процессами на молекулярном уровне.

В целом же взаимосвязь нано- и био- областей науки и технологии носит фундаментальный характер. При рассмотрении живых (биологических) структур на молекулярном уровне становится очевидной их химическая природа, и можно сказать, что на микроуровне различие между живым и неживым не очевидно. К примеру, АТФ-синтаза (комплекс ферментов, присутствующий практически во всех живых клетках) по принципам своего устройства и функциям представляет собой миниатюрный электромотор. Разрабатываемые же в настоящее время гибридные системы (микроробот со жгутиком бактерии в качестве двигателя) не отличаются принципиально от естественных (вирус) или искусственных систем. Подобное сходство строения и функций природных биологических и искусственных нанообъектов приводит к особенно явной конвергенции нанотехнологий и биотехнологий.

Нанотехнологии и когнитивная наука наиболее далеко отстоят друг от друга, поскольку на данном этапе развития науки возможности для взаимодействия между ними ограничены, кроме того, эти области начали активно развиваться позже других. Но из просматриваемых сейчас перспектив, прежде всего, следует выделить использование наноинструментов для изучения мозга, а также - его компьютерного моделирования. Существующие внешние методы сканирования мозга не обеспечивают достаточной глубины и разрешения. Безусловно, существует огромный потенциал для улучшения их характеристик, но разрабатываемые во многих ведущих лабораториях роботы размером до 100 нм (нанороботы) представляются наиболее технически простым путем изучения деятельности отдельных нейронов и даже их внутриклеточных структур.

Взаимодействие между нанотехнологиями и информационными технологиями носит двусторонний синергетический и, что особенно интересно, рекурсивно взаимоусиливающийся характер. С одной стороны, информационные технологии используются для компьютерной симуляции наноустройств. С другой стороны, уже сегодня идет активное использование (пока еще достаточно простых) нанотехнологий для создания более мощных вычислительных и коммуникационных устройств.

Надо сказать, что в прошлом и сейчас темпы увеличения мощности компьютеров описываются законом Мура, который, утверждает, что с самого начала появления микросхем каждая новая модель их разрабатывается спустя примерно 18-24 месяцев после появления предшествующей модели, а емкость их при этом возрастает каждый раз вдвое. По мере развития нанотехнологий станет возможным создание более совершенных вычислительных устройств. В свою очередь, это облегчит моделирование нанотехнологических устройств, обеспечивая ускоренный рост нанотехнологий. Подобное синергетическое взаимодействие, весьма вероятно, обеспечит относительно быстрое (всего за 20-30 лет) развитие нанотехнологий до уровня молекулярного производства.

Симуляция молекулярных систем пока находится в начале своего развития, но уже удалось смоделировать (с атомарной точностью, учитывая тепловые и квантовые эффекты) работу молекулярных устройств размером до 20 тыс. атомов, также построить атомарные модели вирусов и некоторых клеточных структур размером в несколько миллионов атомов.

Информационные технологии также используются для моделирования биологических систем. Возникла новая междисциплинарная область вычислительная биология, включающая биоинформатику, системную биологию и др. К настоящему моменту создано множество самых разнообразных моделей, симулирующих системы от молекулярных взаимодействий до популяций. Объединением подобных симуляций различных уровней занимается, в частности, системная биология. Ряд проектов самого разного рода занимается интеграцией моделей организма человека на различных уровнях (от клеток до целого организма). Так, проект Blue Brain (совместный проект ИВМ и Ecole Polytechnique Federale de Lausanne) создан для работы над моделированием коры головного мозга человека (Blue Brain Project). В будущем станет возможным полное моделирование живых организмов, от генетического кода до строения организма, его роста и развития, вплоть до эволюции популяции.

Не только компьютерные технологии оказывают большое влияние на развитие биотехнологий. Наблюдается и обратный процесс, например, в разработке так называемых ДНК-компьютеров. Была продемонстрирована практическая возможность вычислений на ДНК-компьютерах. Взаимодействие между самой первой по времени возникновения и последней волнами научно-технической революции (компьютерной и когнитивной) является, возможно, в перспективе наиболее важной «точкой научно-технологического роста».

Во-первых, как уже было сказано, информационные технологии сделали возможным существенно более качественное, чем раньше, изучение мозга.

Во-вторых, развитие компьютеров делает возможной (и, как мы уже видели, на этом пути есть определенные успехи) симуляцию мозга. Сейчас идет работа (проект Blue Brain) над созданием полных компьютерных моделей отдельных неокортексных колонок, являющихся базовым строительным элементом новой коры головного мозга - неокортекса. В перспективе (по оценкам экспертов, к 2030 - 2040 г. возможно создание полных компьютерных симуляций человеческого мозга, что означает симуляцию разума, личности, сознания и других свойств человеческой психики.

В-третьих, развитие «нейросиликоновых» интерфейсов (объединения нервных клеток и электронных устройств в единую систему) открывает широкие возможности для киборгизации (подключения искусственных частей тела, органов и т.д. к человеку через нервную систему), разработки интерфейсов «мозг-компьютер» (прямое подключение компьютеров к мозгу, минуя обычные сенсорные каналы) для обеспечения высокоэффективной двусторонней связи.

В-четвертых, наблюдаемый сейчас стремительный прогресс в когнитивной науке в скором времени, как полагает ряд ученых, позволит «разгадать загадку разума», то есть описать и объяснить процессы в мозгу человека, ответственные за высшую нервную деятельность человека. Следующим шагом, вероятно, будет реализация данных принципов в системах универсального искусственного интеллекта. Универсальный искусственный интеллект (также называемый «сильный ИИ» и «ИИ человеческого уровня») будет обладать способностями к самостоятельному обучению, творчеству, работе с произвольными предметными областями и свободному общению с человеком. Считается, что создание «сильного ИИ» станет одним из двух главных технологических достижений XXI в., наряду с молекулярными нанотехнологиями.

Обратное влияние информационных технологий на когнитивную область, как уже было показано, весьма значительно, но оно не ограничивается использованием компьютеров в изучении мозга. Информационные и коммуникационные технологии (ИКТ) также уже сейчас используются для усиления человеческого интеллекта. Они во все большей степени дополняют естественные способности человека к работе с информацией. Исследователи предсказывают, что по мере развития данной области будет происходить формирование «внешней коры» («экзокортекс») мозга, то есть, системы программ, дополняющих и расширяющих мыслительные процессы человека. Естественно предположить, что в дальнейшем элементы искусственного интеллекта будут интегрироваться в разум человека с использованием прямых интерфейсов «мозг-компьютер». Многие ученые считают, что это может произойти в 2020 - 2030-х годах.

Принимая во внимание описанные выше взаимосвязи, а также в целом междисциплинарный характер современной науки, можно даже говорить об ожидаемом в перспективе слиянии NBIC областей в единую научно-технологическую область знания.

Такая область будет включать в предмет своего изучения и действия почти все уровни организации материи: от молекулярной природы вещества (нано), до природы жизни (био), природы разума (когно) и процессов информационного обмена (инфо). Как отмечает Дж. Хорган, в контексте истории науки, возникновение такой метаобласти знания будет означать «начало конца» науки, приближение к ее завершающим этапам.

Разумеется, это утверждение не следует интерпретировать как косвенный аргумент в пользу духовного, религиозного и эзотерического «знания», то есть, перехода от научного познания к какому-то иному. «Исчерпаемость научного познания», по мнению Хоргана, означает завершение организованной деятельности человека по изучению основ материального мира, классификации

природных феноменов, выявлению базовых закономерностей, определяющих идущие в мире процессы. Следующим этапом может стать изучение сложных систем (в т.ч. намного более сложных, чем существующие сейчас).

В целом, можно говорить о том, что развивающийся на наших глазах феномен NBIC-конвергенции представляет собой радикально новый этап научно-технического прогресса. По своим возможным последствиям NBIC -конвергенция является важнейшим эволюционно-определяющим фактором и знаменует собой начало трансгуманистических преобразований, когда сама по себе эволюция человека, надо полагать, перейдет под его собственный разумный контроль.

Итак, отличительными особенностями NBIC-конвергенции являются:

- интенсивное взаимодействие между указанными научными и технологическими областями;
- значительный синергетический эффект;
- широта охвата рассматриваемых и подверженных влиянию предметных областей - от атомарного уровня материи до разумных систем;
- выявление перспективы качественного роста технологических возможностей индивидуального и общественного развития человека - благодаря NBIC -конвергенции.

### **§1.11. Философские и мировоззренческие проблемы, порожаемые NBICS-конвергенцией.**

NBIC -конвергенция имеет не только огромное научное и технологическое значение. Технологические возможности, раскрывающиеся в ходе NBIC -конвергенции, неизбежно приведут к серьезным культурным, философским и социальным потрясениям. В частности, это касается пересмотра традиционных представлений о таких фундаментальных понятиях, как жизнь, разум, человек, природа, существование.

Исторически эти категории формировались и развивались в рамках достаточно медленно изменяемого общества. Поэтому данные категории корректно описывают только явления и объекты, не выходящие за рамки знакомого и привычного. Пытаться использовать их с прежним содержанием для описания нового мира, создаваемого на наших глазах с помощью технологий конвергенции, нельзя - точно так же, как нельзя применять неделимые, неизменные атомы Демокрита для описания термоядерного синтеза.

Возможно, что от основанной на повседневном опыте определенности человечеству предстоит перейти к пониманию того, что в реальном мире не существует четких границ между многими считавшимися ранее дихотомичными явлениями. Прежде всего, в свете последних исследований теряет свой смысл привычное различие между живым и неживым. Начиная с Демокрита, философы рассматривали проблему сходства и различия живого и неживого. Впрочем, долгое время эта проблема рассматривалась преимущественно с идеалистических или даже эзотерических позиций.

Ученые-естествоиспытатели достаточно давно столкнулись с этой проблемой (еще Ламарк описывал различия между живым и неживым). Так, вирусы обычно не относят ни к живым, ни к неживым системам, рассматривая их как промежуточный по сложности уровень. После открытия прионов - сложных органических молекул, способных к размножению - граница между живым и неживым стала еще более размытой. Развитие био- и нанотехнологий грозит полностью стереть эту грань. Построение целого спектра функциональных систем непрерывно усложняющейся конструкции - от простых механических наноустройств до живых разумных существ - означает, что принципиальной разницы между живым и неживым нет, есть лишь системы, в разной степени обладающие характеристиками, традиционно ассоциирующимися с жизнью.

Также постепенно стирается различие между мыслящей системой, обладающей разумом и свободой волей, и жестко запрограммированной. В нейрофизиологии, например, уже сформировалось понимание того, что человеческий мозг является биологической машиной: гибкой, но, тем не менее, запрограммированной кибернетической системой. Развитие нейрофизиологии позволи-

ло показать, что человеческие способности (такие, как распознавание лиц, постановка целей и т.п.) носят локализованный характер и могут быть включены или выключены вследствие органических повреждений определенных участков мозга или ввода в организм определенных веществ.

Уже сейчас живые существа создаются «искусственно»: с помощью геной инженерии. Недалек тот день, когда станет возможным создавать сложные живые существа (в том числе с помощью нанотехнологий) из отдельных элементов молекулярных размеров. Помимо расширения границ человеческого творчества, это неизбежно будет означать трансформацию наших представлений о рождении и смерти.

Одним из следствий таких возможностей станет распространение «информационной» интерпретации жизни, когда ценность представляет не только материальный объект (в том числе - живое существо) как таковой, но и информация о нем. Это приведет к реализации сценариев так называемого «цифрового бессмертия»: восстановления живых разумных существ по сохранившейся информации о них. Такая возможность до недавней поры рассматривалась только писателями-фантастами. Но, в 2005 г. компанией Hanson Robotics был создан робот-двойник писателя Филиппа Дика, воспроизводящий внешность писателя с загруженными в примитивный мозг-компьютер всеми произведениями писателя. С роботом можно разговаривать на темы творчества Дика. Возможно, что в перспективе человек будет считаться живым в различной степени в зависимости от сохранности информации о нем, полученной с помощью психологических опросников или записывающих устройств.

Пересматривать также придется и само понятие «человек». Сначала с появлением абортов, а потом и в связи с развитием биотехнологий человечество столкнулось с такими проблемами как определение момента возникновения человеческой жизни. Встал вопрос о применимости понятия «человек» к эмбриону на разных стадиях его развития. По мере перестройки человека вопрос о границах «человечности» встанет еще не раз.

Относительно просто этот вопрос решается, когда мы улучшаем наличествующую на данный момент природу человека (медицина, протезирование, очки и пр.). Несколько сложнее дело обстоит с преобразованием, модификацией человека. Исторически сложилось, что верхней границы «человечности» нет. Возможно, что - ввиду ее неактуальности до последнего времени - теме определения границ «человечности» уделяли мало внимания. Но если человек сознательно приобретет нечто, ранее людям не свойственное (жабры, например), и откажется от свойственного (легкие в данном случае), можно ли говорить о «потере человечности»? Единственным разумным решением подобных вопросов представляется заключение о том, что «человек» - это всего лишь удобный термин, который мы придумали для отображения привычного для нас мира.

Как мы видим, точно так же, как с традиционными дихотомиями живое - неживое, разумное - неразумное, существование границы между человеком и не-человеком может быть также подвергнуто сомнению.

В качестве примера относительности понятия разумного можно привести идеи, планы и достижения по так называемому «возвышению» («апифтингу») животных. Существует немало данных, говорящих о том, что при адекватном воспитании некоторые животные (прежде всего, высшие приматы, возможно, и дельфины) проявляют необычайно высокие способности. Обеспечить животных соответствующим воспитанием и образованием может стать этически необходимым для человека на определенном этапе его развития. При подобном развитии событий такие животные смогут считаться разумными, а значит, грань между человеком (разумным) и животными станет не столь явной. Аналогичным образом, развитие гуманоидных роботов и наделение их искусственным интеллектом приведет к стиранию границ между человеком и роботом.

Столь же неоднозначным является вопрос, что же в будущем будут называть природой. Представление о человеке как небольшом, слабом существе в большом, враждебном и опасном мире неизбежно изменяется по мере того, как человек получает все больший контроль над миром. С развитием нанотехнологий человечество потенциально может взять под контроль любые процессы на планете. Нанотехнологии дают неограниченные производственные возможности, а значит, наномашинны могут быть распространены по всему объему планеты Земля. Искусственный

интеллект может эффективно управлять всей совокупностью наномашин. Существующие проекты глобальной защиты, такие как NanoShield предлагают такой уровень контроля для целей обеспечения безопасности, но функции подобной системы могут быть расширены для обеспечения тотального контроля за всеми процессами на Земле.

Что будет при этом являться «природой», где будет находиться «природа», да и вообще - существует ли «природа» на планете, где нет места масштабным случайным явлениям, где постоянно контролируется все - от глобальной погоды до биохимических процессов в отдельной клетке? Здесь проглядывает стирание еще одной дихотомии: искусственное - естественное.

Столь же непривычно в свете развития NBIC-конвергенции видоизменяется понятие существования какого-то объекта. Первым шагом на пути трансформации философской категории существования будет «информационный» взгляд на объекты (в чем-то схожий с платонизмом). Если с точки зрения сторонних наблюдателей нет разницы между физическим существованием объекта и существованием информации о нем (как в случае с компьютерной симуляцией или восстановлением объекта по информации о нем), то возникает вопрос: следует ли придавать особое значение физическому существованию носителя информации? Если нет, то какой объем информации должен сохраняться, и в какой форме, чтобы можно было говорить о существовании информационном?

Развитие NBIC-технологий может стать началом нового этапа эволюции человека - этапа направленной осознанной эволюции. В этом проявляется трансгуманистический характер NBIC - конвергенции. Особенность направленной эволюции, как явствует из названия, заключается в наличии цели. Обычный эволюционный процесс, основанный на механизмах естественного отбора, слеп и направляется лишь локальными оптимумами. Искусственный отбор, осуществляемый человеком, направлен на формирование и закрепление желаемых признаков. Однако отсутствие эффективных эволюционных механизмов до сих пор ограничивало область применения искусственного отбора. По нашему мнению, на смену длительному и постепенному процессу накопления благоприятных изменений идет инженерный процесс постановки целостных задач и их планомерного решения.

Первые практические методы и результаты направленной эволюции можно наблюдать уже сейчас (появление генномодифицированных растений и животных, ранняя диагностика синдрома Дауна и пр.) По мере расширения возможностей будут появляться и новые результаты. От генетически модифицированных, растений и животных (сегодня) - к молекулярным машинам на основе вирусов (один из путей создания молекулярных машин). Затем - к искусственно созданным биологическим системам для выполнения производственных, медицинских и иных функций к повышению животных, созданию сложных химерных и искусственных организмов.

Конечный этап развития этого направления сложно описать в привычных терминах. Описательная проблема состоит в том, что традиционные термины, категории и образы формировались человеческой культурой в условиях ограниченных материальных, технических и интеллектуальных ресурсов, что наложило значительные ограничения на наши описательные возможности. Надо полагать, что биологические системы отдаленного будущего будут соответствовать текущим потребностям их создателей, какими бы они ни были.

Биологические системы на основе белков и ДНК являются лишь одним из известных подходов к развитию чрезвычайно перспективной отрасли - нанотехнологии. Еще одним известным подходом являются наномеханические устройства («подход Дрекслера»), развиваемые сейчас во многих странах, прежде всего, в США. По мере того как будет реализован потенциал этих подходов и наращены возможности инструментов (симуляции, наноманипуляторы), будет происходить усиление направленной эволюции. Теоретики нанотехнологической революции предсказывают, что новые системы будут одновременно крайне сложными (10-30 атомов и более) и оптимизированными на атомарном уровне (принцип: каждый атом на своем месте)

Существование живых существ теоретически может быть основано на новом нанотехнологическом субстрате. Частично это существование будет симулировано в компьютерах, частично реализовано в реальных физических функциональных системах. Сложность воспроизводимых

систем будет непрерывно возрастать вплоть до уровня «общества» или «человечества». Существующая концепция ноосферы может, с некоторыми оговорками, быть использована для описания результата подобных трансформаций.

Таким образом, изменения, обусловленные конвергенцией технологий, можно охарактеризовать по широте охватываемых явлений и масштабности будущих преобразований как революционные. Кроме того, есть основания полагать, что, благодаря действию закона Мура и возрастающему влиянию информационных технологий на NBIC-конвергенцию, процесс трансформации технологического уклада, общества и человека будет (по историческим меркам) не длительным и постепенным, а чрезвычайно быстрым.

Сложно дать какие-либо характеристики ситуации, в которой объектом трансформаций станут все аспекты жизни человека. Будет ли достигнуто какое-либо благоприятное стабильное состояние, продолжится ли рост и усложнение неограниченно долго, или же подобный путь развития завершится какой-то катастрофой, пока сказать невозможно. Но попробовать сделать некоторые предположения относительно социальной эволюции человечества в новых условиях можно.

Эволюция общества идет тысячелетия. Биологически (этологически) обусловленные группы охотников-собирателей постепенно трансформировались в сложный образ организованный социум. На сегодняшний день можно ожидать, что по мере развития «проникающих» компьютерных систем ) и носимых компьютеров взрывообразно умножающаяся социальная информация будет во все большей степени доступна человеку и все более востребована и используется.

Более того, учитывая развитие информационно-коммуникационных технологий и искусственного интеллекта, мы вправе ожидать серьезного прогресса в изучении закономерностей существования социальных структур. Появление подобной развитой науки будет означать конец стихийной эволюции и переход к сознательному управлению обществом.

Разумеется, первые попытки в данной области делались уже давно, начиная с первых утопий и заканчивая масштабными экспериментами в области социального управления в XX веке (построение коммунистического общества в социалистических странах, институт связей с общественностью и методы манипуляции сознанием в США, тоталитарная система Северной Кореи и др.). Однако все эти попытки опирались на весьма несовершенное понимание механизмов функционирования и развития общества.

Со временем результаты социального конструирования будут, вероятно, в значительно большей степени соответствовать планам. Следует, однако, заметить, что элемент стихийности может сохраниться, в частности, за счет существования конкурирующих интересов различных групп.

Как же будет развиваться цивилизация с появлением эффективных инструментов социального конструирования и по мере развития конвергенции технологий?

Развитие NBIC-технологий приведет к значительному скачку в возможностях производительных сил. С помощью нанотехнологий, а именно - молекулярного производства, по расчетам специалистов, станет возможным создание материальных объектов с чрезвычайно низкой себестоимостью. Молекулярные наномашин, в том числе, наноассемблеры, могут быть невидимы глазу и распределены в пространстве в ожидании команды на производство. Подобную ситуацию можно характеризовать как превращение природы в непосредственную производительную силу, то есть, как ликвидацию в обществе традиционных производственных отношений. Такое положение вещей теоретически могло бы характеризоваться отсутствием государства в современном понимании этого слова, отсутствием товарно-денежных отношений и высоким уровнем свободы людей. В новой ситуации традиционная экономика и даже эволюционная теория в имеющемся на сегодняшний день виде перестанут быть применимыми.

Еще до того как молекулярное производство радикально изменит экономическую ситуацию, можно отметить некоторые важные для экономики следствия развития других областей. В области когнитивных технологий ключевым достижением применительно к экономике может стать разработка искусственного интеллекта, который и будет направлять множество нанороботов в их производительной работе.

В будущем информационные и коммуникационные технологии будут встроены в глобальную производственную систему, обеспечивая возможность работы нанотехнологий и искусственного интеллекта с наибольшей эффективностью.

Если прогнозы о движении в сторону «ноосферного» развития окажутся верными, то развиваться будут взаимоотношения, связанные с творческой и познавательной деятельностью. Вообще же, относительно социального развития общества через несколько десятилетий (именно такие сроки указывают специалисты, прогнозируя появление наноасемблеров) пока больше вопросов, чем ответов.

Тем не менее, вероятно, часть существующих социальных структур сохранится достаточно длительное время лишь с небольшими изменениями. Однако в перспективе растущая автономность индивидов приведет к зарождению новых сообществ, новых социальных норм в рамках старых систем.

Как изменится культура человечества в процессе трансформации, сказать сложно. На этот процесс серьезно могут повлиять изменения морально-этических норм, которые неизбежно будут происходить именно вследствие развития современных технологий. Возможно, этическими установками можно будет управлять. Критерий удовольствия, один из достаточно важных этических критериев еще со времен Эпикура, также трансформируется - станет возможным получение удовольствия без привязки к конкретным действиям или событиям.

Как же будет развиваться цивилизация с точки зрения биологического уровня ее организации? Люди, модифицированные и улучшенные с помощью конвергентных технологий, начнут составлять все большую долю населения. Постепенно важность искусственного компонента (созданного или контролируемого с помощью био- и когно- технологий) будет возрастать.

Можно сказать, что возобновится биологическая эволюция человека. В ближайшем будущем биологические изменения человека, вероятно, будут реализованы уже на новом уровне, с помощью прямого вмешательства в генетический код и в процессы жизнедеятельности человека. Здесь можно выделить два ключевых направления: перестройка тела человека и перестройка его разума. Конечно, механизмы перестройки во многом будут схожими - расшифровка генетического кода, клеточные технологии, моделирование биохимических процессов, вживление электронных устройств, использование наномедицинских роботов и т.д.

Вопрос о границах «человечности» вполне может стать в будущем одним из основных политических вопросов. В то же время, надо отчетливо понимать, что улучшение разума человека (его работы) возможно уже сегодня в рамках подхода, называемого «приращение разума» (intelligence augmentation). Сюда входят: использование инструментов для поиска, обработки и структурирования информации, системы личной производительности, поисковые системы и другие онлайн-инструменты, ноотропные средства и носимые электронные устройства.

Но какими бы ни были удивительными или даже шокирующими обсуждаемые вероятные последствия NBIC-конвергенции, этот процесс уже идет и вопросом научной смелости и честности является не отстранение от проблемы, а ее беспристрастный глубокий анализ.

Как было показано, в настоящее время развитие науки и техники определяется ускоряющимся прогрессом в таких областях, как информационные технологии, биотехнологии, нанотехнологии и когнитивная наука. Эти технологии не развиваются в изоляции, а активно влияют друг на друга. Подобное явление взаимоусиления технологий получило название NBIC-конвергенции. Благодаря NBIC-конвергенции появляется возможность качественного роста возможностей человека за счет его технологической перестройки.

Развитие NBIC-технологий сильно меняет наши представления о мире, в том числе - о природе базовых понятий, таких, как жизнь, человек, разум, природа. Сложно описать результат подобных трансформаций, где изменению подвержены все аспекты жизни человека. Но можно ожидать, что изменения станут все более стремительными. Природа будет превращена в непосредственную производительную силу, ресурсы, доступные человеку, станут практически неограниченными. Большая часть людей примет изменения и улучшит себя с помощью NBIC-технологий,

возможно - с заменой частей тела на искусственные и прямым вмешательством в генетический аппарат и обмен веществ. Трансформируется и разум человека, включая этические системы.

При этом подобные прогнозы жестко основаны на возможностях технологий, начиная от сегодняшних исследовательских проектов и заканчивая ожидаемые результатами принимаемых сейчас долгосрочных научных стратегий. При всей своей революционности, NBIC-конвергенция и ее последствия заслуживают и требуют внимательного и непредвзятого научного анализа.



## Глава 2. За пределами конвергентных технологий: социально-гуманитарные технологии.

### §2.1. Естественнонаучные методы в гуманитарных исследованиях.

Широко известна фраза К. Леви-Стросса: «XXI век будет либо веком гуманитарных наук, либо его не будет вообще».

Конечно, не стоит быть столь категоричным, но отрицать важность и значимость социально-гуманитарных технологий в контексте конвергентных технологий было бы весьма опрометчиво.

Развивая когнитивные исследования, делается попытка реализовать принципиально новый подход. С одной стороны, изучаются процессы сознания с помощью нейронаук, физиологии и молекулярной биологии, а с другой стороны, одновременно привлекаются специалисты различных социально-гуманитарных направлений:

- философы,
- психологи,
- социологи,
- лингвисты,
- этнографы и др.

Например, изучая поведение человека или животного в момент принятия решения, анализируется распространение сигнала по нейронным сетям, возбуждение различных отделов мозга с нейрофизиологических позиций, далее опускаясь на молекулярный уровень.

С другой стороны, одновременно можно исследовать этот же процесс с помощью гуманитарных технологий, например, изучая поведенческие, речевые, психологические и другие особенности.

Привлечение гуманитарных технологий дает нам право говорить о создании новой конвергентной НБИКС-технологии, где «С» – это социальные гуманитарные технологии.

Все эти чрезвычайно сложные технологии требуют специалистов принципиально нового класса, подготовленных уже на междисциплинарной основе. При этом таких междисциплинарно образованных специалистов не должно быть много, на сегодняшний день это, можно сказать, элита научного сообщества.

Можно сказать, что развивающийся на наших глазах феномен NBICS-конвергенции представляет собой радикально новый этап научно-технического прогресса. знаменует начало трансгуманистических преобразований, когда сама по себе эволюция человека перейдет под его собственный разумный контроль.

Дифференциация наук способствует становлению методов исследования, специфичных для каждой отрасли науки, что позволяет овладевать знаниями об объектах, явлениях и процессах вглубь, получать точную и детальную информацию об отдельных их элементах. Однако без объединения разнопредметных знаний невозможно целостное описание объекта, системы, процесса, явления, теории, построение многомерной картины мира, отражающей его изменчивость и подвижность, без этого невозможно постижение взаимной обусловленности всего происходящего в мире. Объединение усилий наук позволяет овладевать знаниями не только вширь, - благодаря ему рождается новое знание вглубь, оно подводит к выявлению и раскрытию новых качеств изучаемых объектов, дает новое представление о единстве и взаимосвязи всего сущего.

Более того, разные области познания не могут развиваться независимо друг от друга, ибо тесно взаимосвязаны через объект исследования. Да и само научное знание по своей природе является целостным, интегративным и системным, а его разбиение на отдельные части - явление чисто условное.

Процесс развития науки - если описать его в самых общих чертах - начинается с появления множества отдельных, не связанных между собой областей знания. Позже началось объединение областей знания в более крупные комплексы, а по мере их расширения снова проявила себя тен-

денция к специализации. Технологии же всегда развивались взаимосвязано, и, как правило, прорывы в одной области были связаны с достижениями в других областях. При этом развитие технологий обычно определялось в течение длительных периодов каким-либо одним ключевым открытием или прогрессом в одной области. Так, можно выделить открытие металлургии, использование силы пара, открытие электричества и т.п.

Сегодня же, благодаря ускорению научно-технического прогресса, мы наблюдаем пересечение во времени целого ряда волн научно-технической революции. В частности, можно выделить идущую с 80-х годов XX столетия революцию в области информационных и коммуникационных технологий, последовавшую за ней биотехнологическую революцию, недавно начавшуюся революцию в области нанотехнологий. Также нельзя обойти вниманием имеющий место в последнее десятилетие бурный прогресс развития когнитивной науки.

Особенно интересным и значимым представляется взаимовлияние именно информационных технологий, биотехнологий, нанотехнологий и когнитивной науки. Данное явление получило название **NBICS-конвергенции** (по первым буквам областей: N -нано; B -био; I -инфо; C –когно, S - социально-гуманитарные технологии).

Как было отмечено выше, термин **NBIC-конвергенции** ввели в 2002 г. М. Роко и У. Бейнбриджем. Однако спустя 5-6 лет стало очевидно, что первоначальные четыре базовые технологии невозможно рассматривать в отрыве от блока социально-гуманитарных дисциплин и было предложено расширить **NBIC-конвергенцию** до **NBICS-конвергенции**, что открыло огромное поле деятельности для гуманитарного знания, но, к сожалению, отечественные академические исследователи (философы, психологи, социологи, экономисты) оказались не готовы ответить на вызовы времени.

Далее, мы постараемся очертить стратегические направления органического включения социально-гуманитарных технологий в общий конвергентный контекст.

Объективно процессы интеграции и дифференциации связаны с материальным единством мира, практическими потребностями развивающегося общества и всех его подсистем. С процессуальной стороны они рассматриваются как противоположные тенденции, как две стороны процесса познания, которые являются характеристиками его развития. Границы между ними часто бывают размыты и подвижны, а их единство не исключает того, что в различные моменты в процессе познания преобладает какая-то одна из них.

В современной науке интеграция понимается как *взаимодействие* на основе общих принципов познания окружающего мира, общих *инвариантов* и, позволяющих объединить разнопредметные знания в единую, целостную, стройную систему. Однако если в естественных науках в качестве инвариантов могут выступать общие логические основания, общие структуры, характеристики, общие качества или обобщенные понятия, используемые разными областями естествознания, то поиски оснований для интеграции естественнонаучного и гуманитарного знания вызывают серьезные затруднения, особенно в той области, где они соприкасаются с ненаучным знанием. Вместе с тем, целостный образ мира, его обобщенная картина в представлениях отдельного человека, его мировоззрение и его деятельность формируются на основе синтеза как научных, так и ненаучных знаний, отражающих разные стороны познания мира. Поиски оснований этого синтеза для современной философии и методологии науки представляют чрезвычайно серьезную проблему, теоретическое решение которой пока не найдено.

## Критерии различия гуманитарного и естественнонаучного знания

Критерии различия	Естественные науки	Гуманитарные науки
Объект исследования	Природа	Человек, общество
Характер объекта исследования	1. Материальный 2. Относительно устойчивый	1. Больше идеальный, чем материальный 2. Относительно изменчивый
Характер методологии	Генерализирующий (обобщающий)	Индивидуализирующий
Ведущая функция	Объяснение (истины доказываются)	Понимание (истины истолковываются)
Влияние ценностей	Малозаметно, неявно	Существенно, открыто
Антропоцентризм	Изгоняется	Неизбежен
Идеологическая нагрузка	Идеологический нейтралитет	Идеологическая нагруженность
Взаимоотношения субъекта и объекта познания	Строго разделены	Частично совпадают
Количественно-качественные характеристики	Преобладание количественных оценок	Преобладание качественных оценок
Применение экспериментальных методов	Составляет основу методологии	Затруднено

В качестве основных направлений методологического анализа в рамках **естественнонаучной методологической концепции** науки можно выделить:

- 1) изучение общих методов научного познания;
- 2) изучение частных методов;
- 3) анализ фундаментальных методологических принципов научного познания.

К числу общих методов естествознания относятся:

- методы эмпирического познания (измерение, наблюдение и эксперимент),
- метод индукции, метод гипотез и
- аксиоматический метод.

Частными и специальными являются:

- вероятностные методы;
- методы, используемые в обобщении и осмыслении эмпирических результатов;
- методы аналогии, мысленного и математического экспериментов.

Фундаментальные методологические принципы — это общие требования, предъявляемые к содержанию, структуре и способу организации научного знания.

Методологические принципы научного познания регулируют научную деятельность (их называют регулятивными принципами или методологическими регулятивами).

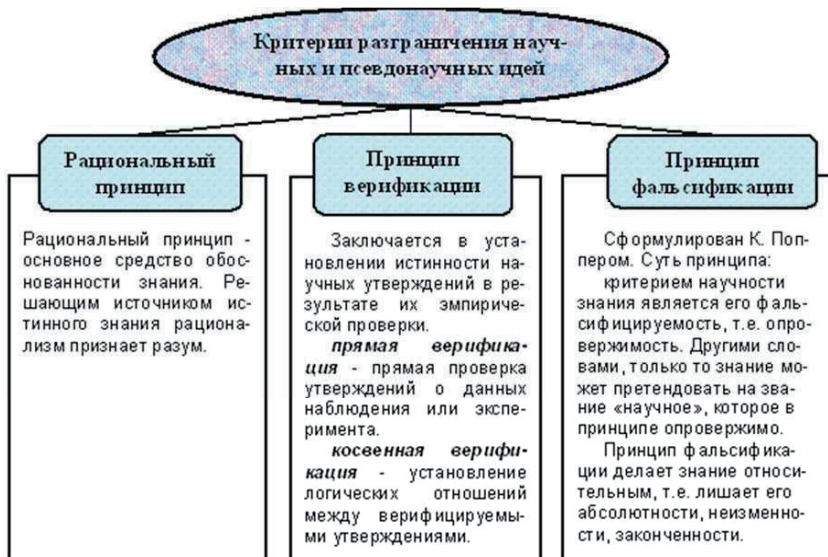
Другая важнейшая функция методологических принципов — эвристическая.

В качестве методологических принципов научного познания выступают:

- принципы подтверждаемости (верификации) и
- опровергаемости (фальсификации),
- принцип наблюдаемости,
- принцип простоты,
- принцип соответствия,
- принцип инвариантности (симметрии) и
- принцип системности (согласованности).

Нередко к ним добавляют;

- принцип дополнительности,
- принцип красоты,
- экстремальные принципы и некоторые другие.



В методологии гуманитарных наук решаются проблемы, сходные с проблемами методологии естествознания, с помощью переосмысления и определенной адаптации.

Так, базовая проблема — **научная картина мира в познании** — предстает как роль языковой картины мира в интеграции сфер и универсалий культуры, жизнедеятельности человека в целом. Она составляет основание человеческого познания, поведения, типа хозяйствования, образа жизни, «логики» мировидения и мировосприятия. Это особо значимо для историко-культурных исследований: историк культуры не может полагаться только на воображение и интуицию, но должен обращаться к научным методам, гарантирующим объективный подход. Важнейший из них — выявление таких универсальных («космических» и социальных) категорий языка, как время, пространство, изменение, причина, судьба, свобода, право, труд, собственность и др. Эти универсалии образуют «сетку координат», своего рода «модель», или картину мира, при помощи которой воспринимается действительность и строится образ мира в сознании человека.

Мощным драйвером все нарастающего междисциплинарного взаимопроникновения является интенсивное развитие и применение естественнонаучных методов исследования в гуманитарных науках. Это кажется чрезвычайно важным с позиций развития НБИКС - концепции, поскольку именно эти исследования создают реально – действующую связь социогуманитарных наук с естественными науками и технологиями через комплекс естественнонаучных методов исследования.

Научное познание возникло из необходимости создать целостную картину окружающего мира. Именно из холистической концепции природы исходил родоначальник современной физики Исаак Ньютон, хотя дисциплинарная структура научного знания берет свое начало еще в Античности и продолжается вплоть до наших дней.

Однако изучение разноаспектной реальности привело к тому, что вместо целостной картины мира наука получила своеобразную мозаику с разной степенью полноты изученных и понятых явлений за счет вычленения модельных сегментов природы, доступных анализу. Желая познать мир более глубоко, выявить фундаментальные законы, лежащие в основе мироздания, человек был вынужден сегментировать природу, создать дисциплинарные границы.

Следствием этого явилась узкая специализация науки и образования, что, в свою очередь определило отраслевой принцип организации экономики и производства.

Последующее развитие цивилизации с необходимостью потребовало возникновения сначала интегрированных межотраслевых технологий, а в настоящее время - **надотраслевых** технологий, примерами которых являются **информационные** и **нанотехнологии** (манипулирование атомами). При этом последние представляют собой единый фундамент для развития **всех** отраслей новой наукоемкой технологии постиндустриального – информационного – общества, первый надотраслевой приоритет развития. Нанотехнологии – это базовый приоритет для всех существующих отраслей, которые изменят и сами информационные технологии. В этом заключается синергизм новой системы, что возвращает нас к цельной картине естествознания. Можно сказать, что сегодня у ученых есть некий набор паззлов, из которых надо вновь собрать целостный неделимый мир.

Последние привели к изменению исследовательской парадигмы: если ранее научное познание носило аналитический характер («сверху вниз»), то теперь оно перешло на синтетический уровень («снизу вверх»), что потребовало отказа от узкой специализации и перехода к созданию различных материалов и систем на атомно-молекулярном уровне.

Важнейшими чертами современного этапа развития научной сферы являются:

- переход к наноразмеру (технологии атомно-молекулярного конструирования);
- междисциплинарность научных исследований;
- сближение органического (живой природы) и неорганического (металлы, полупроводники и т.д.) миров.

Цивилизация прошла путь от **макротехнологий** (дом, машина), где измерения производились линейками или рулетками, через **микротехнологии** (полупроводники, интегральные схемы), где в качестве измерительных приборов уже использовались оптические методы, до **нанотехнологий**, где для измерений нужны уже рентгеновские дифракционные методы и установки для их реализации, ибо стандартные оптические методы достигли границ своей применимости.

Можно сказать, что **нанотехнологии** представляют собой методологию современного научного познания, ее рабочий инструмент, ведущий к принципиальному стиранию междисциплинарных границ. Более того, это именно методология создания новых материалов, а не «одна из» множества других существующих технологий. Иными словами, если современная **физика** является сегодня *методологией холистического понимания* природы, **математика** – *аппаратом (языком)* этого понимания, то **конвергентные технологии** являются *инструментом* этого аппарата, с одной стороны, а, с другой, - основой промышленного производства и системы образования (философия образования).

Именно конвергентные технологии, являясь материальным плацдармом конвергентного подхода, исходя из нанотехнологической методологии, изменили парадигму познания с **аналити-**

**ческой на синтетическую**, породив современные промышленные технологии, обеспечившие стирание узких междисциплинарных границ.

При этом следует иметь в виду, что **НЕ**отраслевые технологии ни в коем случае не уничтожают специальное знание, как утверждают многие отечественные философы постнеклассического толка, – просто узкая специализация останется необходимым компонентом точного знания.

Вместе с тем, не следует относиться к нанотехнологиям как к некоторой панацее, которая избавит человечество от всех существующих проблем – от экономических до очень модных сегодня глобальных экологических.

Нанотехнологии, как уже неоднократно подчеркивалось, – это, прежде всего, инструмент, который во многих аспектах является универсальным для интегрированного целеуказания, которым является конвергенция. Но ее главным проективным критерием является функция **сложности**, отражающей совершенство произведенной системы.

Существовавшие ранее технологии создавались под нужды человека, под его запросы и потребности, а существующие сейчас технологии (например, те же надотраслевые – информационные и нанотехнологии) оказываются в состоянии изменить самого человека, чего не было в прошлом. Об этом много рассуждает М.Кастель в контексте информационной эпохи. Более того, все чаще антропологи отмечают прямое влияние технологий на эволюцию человека как биологического вида.

Таким образом, NBICS-конвергенция порождает множество очень серьезных мировоззренческих проблем. Если начало XX века ознаменовалось известным тезисом о неисчерпаемости электрона, то начало XXI века знаменуется тезисами о диалектической **неисчерпаемости** человеческого мозга и принципиальной возможности **воспроизводства** живого. При этом следует иметь в виду, что эти установки следует понимать не в буквальном смысле, а с точки зрения *асимптотического* приближения, хорошо известного математикам и физикам.

Сегодня в когнитивной науке получила широкое распространение компьютерная метафора функционирования мозга. Но это очень приближенная модель: действительно, компьютер – это числовая алгоритмическая система, а мозг принципиально неалгоритмичен (во всяком случае все многочисленные попытки ученых найти или хотя бы описать эти алгоритмы не дали результатов). К тому же, мозг работает с психическими образами при обработке информации, то есть является аналоговой системой. Вместе с тем не стоит забывать, что информация всегда имеет материальный носитель, без и вне которого она не может существовать.

Научная картина мира требует возвращения к натурфилософии (философии природы), с которой 300 лет назад начинал Ньютон, органично включающую в себя естественные и гуманитарные науки. И необходимым инструментом для решения данной задачи являются конвергентные NBICS-технологии.

При этом постоянно следует иметь в виду, что NBICS-конвергенция помимо позитивных аспектов может таить в себе и большое количество угроз и социально-экономических рисков. Определение ключевых факторов риска в значительной степени зависит от перспектив, которые открываются, и от области применения и приложения. Поэтому следует уделять внимание и различным аспектам обеспечения безопасности.

Конвергентные технологии открывают огромные потенциальные возможности и перспективы для человечества, но они же могут оказаться и ящиком Пандоры. Возможно, это лучший тест на разумность вида *homo sapiens*.

Таким образом, в конце XX – начале XXI веков в естествознании складывается качественно новый тип научной картины мира, который. Развитие производительных сил до уровня пятого и шестого технологических укладов привело к значительному росту теоретической и материально-предметной активности субъекта. Роль науки в обществе продолжает возрастать, она все в большей мере выступает непосредственной производительной силой и интегративной основой всех сфер общественной жизни на всех ее уровнях. Как никогда ранее сблизилась наука и техника, фундаментальные и прикладные науки, науки естественные и социально-гуманитарные (на фоне возрастания роли человеческого фактора во всех формах деятельности). Выделяются совер-

шенно новые типы объектов научного познания. Они характеризуются сложностью организации, открытостью, саморегулированием, уникальностью, а также историзмом, саморазвитием, необратимостью процессов, способностью изменять свою структуру и т.п.

К такого типа уникальным объектам относятся, прежде всего, природные комплексы, в которые включен человек как субъект деятельности (экологические, социальные объекты, медико-биологические, биотехнологические, биосферные, эргономические, информационные комплексы, включая системы искусственного интеллекта и др.). Исследование такого рода объектов требует новых, ранее не проявившихся в познавательной деятельности особенностей. Так, изменяются представления классического и неклассического естествознания о ценностно-нейтральном характере научного исследования. В процесс и результат научного познания непосредственно включаются аксиологические факторы (социальная экспертиза, ценностные, этические, эстетические и др. обстоятельства). Крайне важным является появление информационных технологий – первых, носящих надотраслевой характер. Сегодня без них не может существовать ни одна из отраслей науки, промышленности (благодаря им возникли телемедицина, дистанционное обучение, автоматические системы пилотирования самолетов, кораблей и т.д.) - информационные технологии стали неким «обручем», который методологически и теоретически объединил, интегрировал разные научные дисциплины и технологии.

В современной науке предметная активность субъекта достигла такого уровня, когда появились исключительные возможности созидания новой сферы материальной культуры на основе атомно-молекулярного конструирования искусственных, целенаправленно созданных человеком материальных вещественных образований с принципиально новыми, заданными свойствами. Современные нано- и биотехнологии размывают границы между практической и познавательной деятельностью, познание объекта становится возможным только в результате его предметно-деятельного преобразования. По сути, идет процесс формирования материальной культуры в совершенно новом качестве. Налицо тенденция замены узкой специализации междисциплинарностью, что в свою очередь ведет уже к трансдисциплинарной интеграции.

В современном познании аналитический подход к познанию структуры материи окончательно сменился синтетическим. Анализ и синтез по своей сути не только дополняют, но и взаимно обуславливают друг друга, трансформируются один в другой. Разумеется, в дальнейшем путь анализа никуда не исчезнет, но он перестанет быть главным приоритетом, скорее, отойдет на второй план в векторе развития науки.





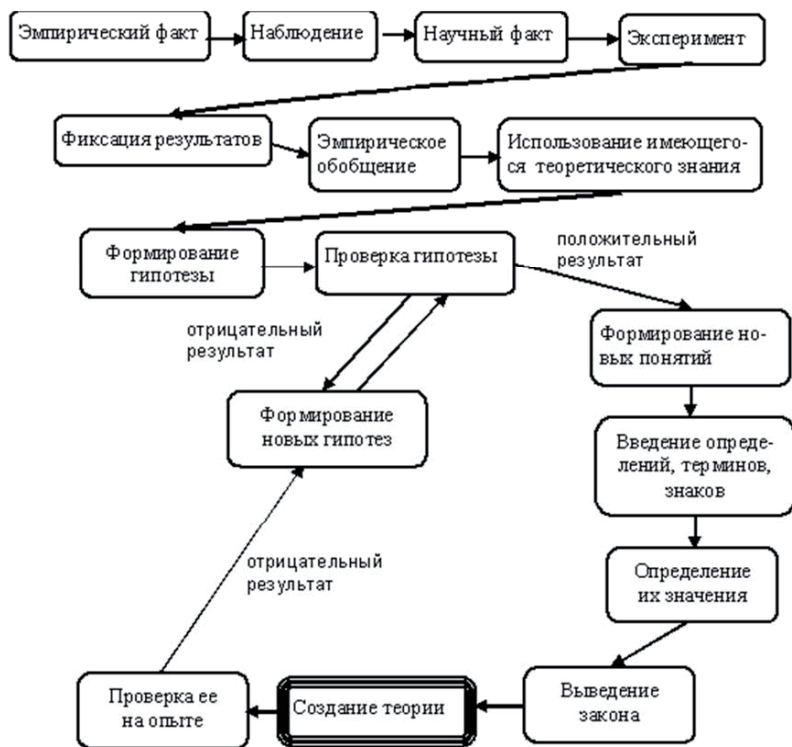


Все это влечет за собой качественные изменения характера «внутреннего» и «внешнего» единства науки. Идеал аксиоматическо-дедуктивной системы как форма организации «внутреннего единства» науки сменяется идеалом поливариантной теории - построение конкурирующих теоретических описаний, основанных на методах аппроксимации, компьютерных программах и т.д. В частности, это вызвано потребностями разработки способов описания (объяснения) состояний развивающегося объекта, которые должны включать в себя построение сценариев возможных многовариантных линий изменяющихся

состояний объекта. Особенно когда объектом является развивающаяся система, существующая лишь в одном экземпляре (Вселенная, биосфера, социум и др.). Здесь главная сложность в том, что, во-первых, нет возможности воспроизводить первоначальные состояния такого объекта, а, во-вторых, в данное время нет возможности воспроизвести его будущие состояния. В таком случае концептуальные обобщения эмпирических данных проецируются на множественные теоретические модели вероятностных линий эволюции объекта.

«Внешнее единство» постнеклассической науки реализуется на нескольких уровнях – в процессе установления системных взаимосвязей между различными областями знания; в ходе трансформации методологии познания, способов и методов познания, методологических установок; через появление новых элементов картины мира; уточнении философских оснований конкретно-научного познания и др. Наиболее важный интегративный уровень связан с научной картиной мира. На уровне картин мира единство научного знания в постнеклассической науке проявляется в усилении междисциплинарных взаимодействий, уменьшении уровня автономности специальных научных картин мира, которые интегрируются в системы естественнонаучной и социальной картин мира, а затем обобщаются в общенаучной картине мира.





Сама общенаучная картина мира начинает все в большей мере соединять принципы системности и эволюции, и базируется на идее универсального эволюционизма. Это позволяет ей через установление преемственных связей между неорганическим миром, живой природой и социумом устранить исторически сложившееся в познании противопоставление естественнонаучной и социальной научной картин мира, усилить интегративные связи отдельных наук, специальных картин мира, представить их как фрагменты единой общенаучной картины мира. На уровне философских оснований система постнеклассической науки интегрируется, прежде всего, категориальным аппаратом, теоретически отражающим проблематику социокультурной обусловленности познания, включая сюда проблему мировоззренческих и социально-этических регулятивов постнеклассической науки.

Все эти интегративные многоуровневые процессы позволяют говорить о новом типе интеграции в системе постнеклассической науки. «Внутреннее» и «внешнее» единство науки сливаются в некий единый когнитивно-ценностный комплекс требований к познавательному процессу. Единство науки приобретает качественно новый характер, который получил название *конвергенцией наук*.

<b>Естественнонаучное познание</b>	<b>Гуманитарно-художественное</b>
Носит объективный характер	Носит субъективный характер
Предмет познания типичен	Предмет познания индивидуален
Историчность не обязательна	Всегда исторично
Создает только знание	Создает знание, а также мнение и оценку познаваемого предмета
Естествоиспытатель стремится быть сторонним наблюдателем	Гуманитарий неизбежно участвует в исследуемом процессе
Опирается на язык терминов и чисел	Опирается на язык образов

К характеристикам конвергентного единства могут быть отнесены также следующие черты современной науки.

Во-первых, доминирование междисциплинарных исследований, которые берут на себя интегративные функции по отношению к отдельным наукам (примерами могут служить теория систем, теория управления и т.д.). На этой основе происходит сближение отдельных наук, способов познания. Интеграция носит не просто междисциплинарный, а трансдисциплинарный характер.

Во-вторых, растет само многообразие интегративных процессов; иначе говоря, происходит их дифференциация, т.е. интеграция дифференцируется.

В-третьих, сама дифференциация становится все в большей мере моментом интеграции, приобретает все более явно выраженную интегративную направленность, выступает как закономерный, функциональный момент процесса самоорганизации и самоструктурирования науки. Иначе говоря, дифференциация из особого направления эволюции науки становится частью доминирующего в ней интеграционного процесса.

В-четвертых, в результате, интеграция как движение к целостности направлена не противоположно дифференциации, а включает ее в себя как часть, как один из необходимых аспектов общего процесса развития системы. Другими словами, отдельные процессы дифференциации и интеграции сливаются в единый интегрально-дифференциальный синтез.

Яркой иллюстрацией конвергентных процессов является новейшее направление развития науки, связанные с нано, био, инфо, когнитивными (NBIC) науками и технологиями. Именно нанотехнологии (в виде технологий атомно-молекулярного конструирования материалов с качественно новыми свойствами «под заказ») создают фундамент и принципиально нового технологического уклада, и принципиально нового уровня организации науки и научных технологий. Внутренняя логика развития нанотехнологий нацелена на объединение множества узкоспециализированных наук в единую систему современного научного познания. Базой такого объединения является не только знание атомарного устройства мира, но и способность человека целенаправленно им манипулировать, конструируя немислимые ранее материалы. Все это, на наш взгляд, дает основания утверждать, что новейшая «нанотехнологическая революция» является выражением глубокой закономерности возрастания роли субъекта в теоретическом и практическом освоении человеком мира. Развитие науки достигло такого технологического уровня, когда стало возможным не просто моделировать, а адекватно воспроизводить системы и процессы живой природы с помощью конвергентных нано-, био-, инфо-, когнитивных науки и технологии (NBIC-технологии). Двигаясь по пути синтеза «природоподобных» систем и процессов, человечество рано, или поздно, подойдет к созданию антропоморфных технических систем, высокоорганизованных «копий живого».

Для того чтобы разумно, безопасно и эффективно пользоваться всеми этими достижениями, привести современную техносферу в гармонию с природой, необходимо учитывать и использовать закономерности трансформации сознания, психики человека. Человек как субъект практического и познавательного отношения к миру рано или поздно сам становится объектом научно-технологического воздействия. Это может быть осуществлено путем соединения возможностей NBIC-технологий с достижениями социально-гуманитарных наук и технологий. На этом пути

пространство конвергентных технологий приобретает еще одно измерение – социально-гуманитарное, а конвергентное единство nano-, био-, инфо-, когнитивных технологий дополняется социально-гуманитарными технологиями, становясь уже NBICS-технологиями. Это делает их практическим инструментом формирования качественно новой техносферы, которая станет органичной частью природы.

Новая научная картина мира складывается в естествознании XXI в. –

- аналитический подход к познанию структуры материи сменился синтетическим, доминируют междисциплинарные исследования, растет их многообразие;
- они берут на себя интегративные функции по отношению к отдельным наукам; сближаются науки об органической и неорганической природе, интеграция наук приобретает трансдисциплинарный характер;
- дифференциация из особого направления эволюции науки становится моментом доминирующего в ней интеграционного процесса;
- процессы дифференциации и интеграции сливаются в единый интегрально-дифференциальный синтез; усиливается взаимодействие между внешним и внутренним единством науки, они часто они становятся неразличимыми. Такая парадигма научного знания может быть названа *конвергентной*<sup>9</sup>.

В современной жизни наука, техника и технологии участвуют практически во всех аспектах нашей жизни и вносят решающий вклад в решение наиболее актуальных текущих и будущих проблем, которые стоят перед человечеством. В своей последней книге, "Что раньше было с нами", Фридман и Мандельбаум (2011) определили одну из основных проблем для США - объединение множества разнонаправленных действий для достижения высшей национальной цели - "действовать сообща ради всеобщего блага". Целью было ответить на этот вызов путем выявления основных механизмов человеческой деятельности, включая создание новых знаний и технологических инноваций, а также выработать подходы к использованию этих механизмов для достижения всеобъемлющей цели. Это выдвигает конвергенцию в области науки и техники на роль одного из основных механизмов для достижения общественного процветания; оценивает методики и инструментарий преобразовательных и управленческих процессов; и определяет долгосрочные тенденции использования конвергентных технологий. Проект собрал информацию о междисциплинарных исследованиях, разработках, прикладных исследованиях и тенденциях развития по всему земному шару: от Северной и Южной Америки до Европейского Союза, Азии, и Австралии.

Ряд важных тем, пронизывают науку, математику и технологии и всякий раз возникают вне зависимости от того, изучаем ли мы на древние цивилизации, человеческое тело, или движение комет. Это концепции, выходящие за рамки дисциплинарных границ, которые доказали свою плодотворность в объяснении явлений, в теориях, в наблюдениях, и в дизайне (AAAS 1989). Необходимо проанализировать пять концепций, ориентированных на конвергенцию знаний, технологий и общества (CKTS):

(1) *принцип целостной системной взаимозависимости в природе, знаниях и обществе с возможностью применения его в решении экономических, общечеловеческих, общепланетарных и социально-политических вопросов,*

(2) *конвергентно-дивергентные (побочные) эволюционные процессы в науке и технике,*

(3) *создание языков более высокого уровня (многодоменных) для поддержки эффективного обмена новыми знаниями,*

(4) *необходимость проведения обобщающих фундаментальных исследований постановки крупных междисциплинарных задач для достижения желаемых результатов, и*

(5) *важность систематического поощрения на уровне государства как государственных, так и частных инициатив в области конвергенции.*

---

<sup>9</sup> См.: Roco M.C., Bainbridge W.S. Converging technologies for improving human performance: nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive science. Dordrecht. 2003. 488 p.

Интеллектуальная унификация различных отраслей науки и техники должна идти рука об руку с расширением культурной и экономической унификации мира как взаимосвязанной системы. Однако, конвергенция должна повышать, а не занижать значимость каждого индивидуального человеческого существа. С момента изобретения колеса и рычага, эффективные технологии повышали человеческие возможности, но теперь увеличения возможностей человека принимают качественно новые формы. Задача будет заключаться в том, чтобы повысить возможности как отдельных индивидуумов, так и общества в целом таким образом, чтобы содействовать росту коллективного и индивидуального благосостояния и свободе человека, при этом придерживаясь общепринятых этических принципов.

В настоящем работе содержится обзор системы СКТС, методов улучшения и ускорения конвергенции знаний и технологий в этой системе, возможных решений для реализации ключевых возможностей, и прогноз на следующее десятилетие. Долгосрочная мировоззренческая концепция конвергенции технологий и осуществляемого на ее основе прогресса человечества была представлена в предыдущих исследованиях (Roco and Bainbridge, 2003, 2006). Эти исследования, как и другие, более ранние работы по целостному подходу (Wilson, 1999) и концепции технологически-ориентированного общества (Kurzweil 1999 г.) были использованы в качестве справочных материалов.

## **§2.2. Конвергенция: фундаментальный принцип прогрессивного развития.**

Взаимодействия между человеческим разумом и окружающей человека природной системой определяют *согласованный эволюционный процесс конвергенции-дивергенции в развитии как знаний и технологий, так и общества*, что приводит к созданию добавочной стоимости и обеспечивает прогресс. Конвергенция означает совмещение различных областей человеческих, машинных и природных ресурсов и возможностей, которые позволяют обществу отвечать на вопросы и решать проблемы, которые невозможно разрешить, используя только отдельные направления; дивергенция создает и распространяет новые знания, технологии и продукты. Процессы конвергенции - дивергенции обеспечивают системный подход: совмещение воедино синергетики, поиска новых путей, инноваций, эффективности и упрощений. СКТС обеспечивает систематический подход для вовлечения в процесс вновь возникающих принципиально новых технологий. Процессы конвергенции уже сейчас можно наблюдать в ряде областей науки и техники.

Природа является единой стройной системой, и различные методы научных и инженерных исследований должны отражать это взаимосвязанное и динамическое единство. Соответственно, для успешного познания и достижения успехов в науке и технике необходимо выдвигать и использовать систематические и взаимосвязанные общие понятия и идеи, основанные на осмыслении причинно-следственных связей. При этом и прикладные разработки в промышленности и социальной сфере также часто бывают основаны на интеграции дисциплин и унификации знаний. В настоящем работе определяются необходимые основы базовых знаний и технологических направлений, а также методы достижения конвергенции как в рамках отдельных направлений, так и между различными направлениями для достижения развития общества.

“Это было лучшее из времен, это было худшее из времен”. Так Диккенс описал революционные изменения прошлого века. Но слова, которые описывают современные научные и социальные революции, либо произносятся с оттенком восхищения, когда речь идет о росте взаимосвязей между людьми, обусловленным новыми цифровыми технологиями, или об искоренении голода и эпидемических заболеваний, обеспечиваемых высоким уровнем медицинских и социальных услуг, либо в них слышится сожаление, когда речь идет о глобальных экономических кризисах и кровопролитиях, подпитываемых этнической и идеологической нетерпимостью. Наиболее значимые достижения человеческого разума – современные наука, технологии и моральные нормы – все они должны стать двигателями прогресса на пути продвижения мира от страданий и конфликтов к процветанию и гармонии. Сегодня, когда наука и общество изменяются так быстро и необратимо, *фундаментальным принципом, обеспечивающим прогресс, должна стать конвергенция* -

творческое объединение наук, технологий и людей, ориентированных на взаимовыгодное сотрудничество.

Кроме того, в последние десятилетия в различных странах наблюдается разрыв между темпами роста инвестиций в НИОКР (которые определяют тенденции роста будущих знаний) и темпами роста ВВП в этих же странах. Например, в США за период с 1989 по 2009 годы федеральные расходы на исследования и разработки росли на 1,3 % ежегодно, в то время как валовой внутренний продукт страны рос на 2,4 % в год (статистика NSF; Райф и Барретт 2013 года). Из-за этого более медленного роста финансирования исследований нахождение более эффективных механизмов конверсии знаний в конкретные результаты, обсуждавшиеся в предыдущем параграфе, становятся сегодня все более актуальными.

В исследованиях организации Объединенных Наций, посвященных развитию человечества, дана всесторонняя картина глобального состояния человечества и указаны ближайшие желательные цели этого развития: всестороннее экономическое развитие, поступательное социальное развитие, обеспечение экологической устойчивости, обеспечение мира и безопасности. Концепция конвергенции знаний, технологий и общества, рассмотренная в этом докладе, является одним из подходов к решению стоящих перед человечеством проблем. Предлагая выход через синергизм, эта концепция порождает творческий подход и инновационность в принятии решений.

Исходные данные для настоящего исследования получены из материалов ведущих научных, промышленных политических экспертов из стран четырех континентов, а также данные по ряду крупных экономик таких стран как США, Австралия, Китай, Европейский Союз, Япония, Корея и регион Латинской Америки. Информацию собирали в течение года пять рабочих групп. Конвергенция знаний и технологий была определена как приоритет развития во всем мире, причем исходя их принципов конвергенции были выработаны конкретные рекомендации для оптимального ускорения прогресса. Например, проект программы Европейского Союза HORIZON2020, использовавший принципы конвергенции стал предметом обсуждения на семинаре рабочей группы ЕС-США, а проект программы Южной Кореи «Центр разработок Политики Конвергенции в Исследованиях» стал предметом обсуждения на семинаре США - Южная Корея - Япония. Благодаря сотрудничеству всех участников настоящей работы стало очевидно, что создание международной сети для продвижения методов и прикладных приложений конвергенции было бы полезно для всех наций. Основным вывод, сделанный группой экспертов из США состоит в том, что Федеральная программа по CKTS могла бы наилучшим образом стимулировать научно-технический и социальный прогресс в Соединенных Штатах .

Настоящее исследование конвергенции знаний, технологий и общества призвано зафиксировать наиболее важные мировые достижения за последние 10 лет в науке, технике и прикладных разработках, оценить прикладные проекты, а также тенденций в Соединенных Штатах и за рубежом, относящиеся к конвергенции знаний и технологий. Особое внимание уделено идеям ведущих исследователей о наиболее вероятных тенденциях в следующем десятилетии и тому, каким образом эти тенденции и возможности могут быть использованы для решения наиболее насущных человеческих проблем и потребностей..

Основными целями исследования было доказать эффективность использования конвергенции науки и техники для оптимального развития общества за счет:

- Углубления знаний о процессах конвергенции и о методах повышения эффективности конвергенции путем трансформации возможных подходов и методов управления
- Определения мировоззренческой концепции и тенденций на ближайшее десятилетие и далее
- Предложение широкого ассортимента возможных ключевых преобразующих действий с целью достижения наилучшего социального результата за счет конвергентно-дивергентных процессов в различных областях

Настоящее исследование преследовало три основные социальные цели:

- Повышение экономической производительности
- Улучшение человеческого потенциала

- Обеспечение устойчивого качества жизни для всех (т.е., доступа к природным ресурсам, пище, здравоохранению, знаниям, и всеобщая безопасность)

Проблемы, с которыми сталкивается человечество уже сейчас, и которые будут стоять перед ним в будущем, как минимум в течение ближайшего десятилетия, потребуют постоянной и напряженной работы во всех трех вышеупомянутых областях.

Конвергенция объединяет людей с взаимосвязанными возможностями так, что они могут синхронно двигаться вперед. Это движение представляет собой повторяющийся и прогрессивный процесс, в ходе которого люди используют науку и технологии для удовлетворения общественных потребностей, используя для преобразования инструменты, которые сами изменяются в ходе выполнения этого процесса. Хотя конвергенция является своеобразным процессом унификации, его нельзя полностью понять без понимания составляющих его компонентов и процессов, которые объединяют эти компоненты. Необходимо проанализировать основные воздействия конвергенции СКТС на:

- Здоровье человека и его физического потенциал
- Познание и коммуникации
- Производительность труда и социальные последствия
- Образование и физическую инфраструктуру
- Общество и его устойчивое развитие
- Оперативное инновационное и социально-ориентированное управление

### §2.3. Эволюция понятия конвергенции.

*Три следующих друг за другом уровня конвергенции, включая наиболее всеобъемлющий подход в виде СКТС доминируют в исследованиях.*

- Первый уровень: существовал в период с конца 1990-х годов до 2000-х годов, когда *нанотехнологии* обеспечили интеграцию дисциплин и технологических секторов материального мира, опираясь на новые знания о наномире.
- Второй уровень: в ходе 2000-х годов, конвергенция нанотехнологии, биотехнологии, информационных технологий и когнитивных наук привела к образованию “NBIC”-технологий, в которых базовые элементы, атомы, ДНК, биты и синапсы в сочетании с системным подходом привели к созданию базовых инструментов, которые в свою очередь интегрировали (как горизонтально, так и вертикально) различные новые технологии в многофункциональные системы.
- Третий уровень: начиная с 2010 года и далее сформировалась СКТС (в нашей работе также именуется как “пост-NBIC ” или “NBIC2”), которая является интегрирует существенную часть человеческой деятельности, знаний, технологий, и социальной активности на достижение социальных благ и удовлетворение человеческих потребностей..

Среди доменов конвергенции существует иерархия. Верхним уровнем является глобальная и эволюционирующая система человеческой деятельности, целью которой является обеспечение потребностей общества и осуществление прогресса в человеческом развитии. Ниже расположены четыре базисные конвергентные платформы, каждая из которых определяется своей базисной системой с ключевыми игроками (физическими лицами, организациями и технологиями, обладает специфическими взаимосвязями и характеристиками, инструментами и собственными целями, описанными ниже.

- *Базовые инструменты* (NBIC): Каждый из которых начинается с базового элемента (атом, бит, ДНК, или синапс), интегрированного в системы.

- *Общечеловеческая платформа*: Характеризуется взаимоотношениями между людьми, между человеком и машинами, и между человеком и природой.

- *Общепланетарная платформа*: Представляет собой среду для деятельности человека, в том числе глобальные природные системы, системы связи, мировую экономическую систему. Существуют ограничения для возможностей человеческого вмешательства.



- *Общественно-социальная платформа:* Характеризуется деятельностью и системами, которые связывают между собой индивидов и группы людей в крупных масштабах. Включает в себя коллективную деятельность, организации и процедуры, включая процессы управления.

В системе эволюционной человеческой деятельности, существует контур обратных связей, с которым взаимодействует центральное ядро

Первый этап конвергенции NBIC создает основу интеграции, когда вновь возникающие технологии взаимодействуют друг с другом в любых масштабах и на всех уровнях сложности. На этой основе CKTS строит интегрированную базу знаний и возможностей (во всех областях науки и техники), которая опирается на обобщенные конвергентные платформы и концепции, и служит для получения общественной пользы. Основными отличиями CKTS является следующее:

- Использование преимуществ интегративного подхода для развития человеческого общества, а также в системах человеческих ценностей, которые действуют в рамках общества и в глобальном масштабе, одновременно оставаясь важными для каждого индивидуума.

- Принцип основан на материальном единстве на наноуровне, на интегрированных системах, и информационных вселенных, объединенных за счет человеческого поведения и других интегративных процессов.

- Принцип наиболее полно осуществляется за счет целостного комплексного подхода, включающего общие методологии, теории и цели, что коренным образом отличаются от традиционных форм кооперации, в которых разделение труда обуславливает и разделение научных дисциплин.

- Принцип уделяет особое внимание возможностям человека и воздействию на человека, а не решению технических задач. Данный подход ищет пути преодоления человеческих конфликтов и достижения оптимальных жизненных условий для работы, учебы, жизни престарелых людей, сохранения физического и умственного здоровья, а также для достижения общечеловеческих целей.

#### **§2.4. Эволюционный процесс по типу конвергенция-дивергенция.**

В настоящей работе процесс конвергенции определяется как нарастание преобразующих взаимосвязей между, казалось бы, совершенно разными научными дисциплинами, технологиями и сообществами, причем целью этого процесса является достижение полной взаимной совместимости, синергизма и интеграции и, таким образом, создание добавочной стоимости (новых ценных продуктов) для удовлетворения общих целей. Это социально-ориентированное определение конвергенции позволяет распространить его как на концепции конвергенции-дивергенции в тенденциях различных областей науки и техники (Roco 2002), так и использовать его для беспрецедентного увеличения взаимосвязей между областями знаний, техническими и социальными системами. Таким образом, результатом социальной конвергенции, как ожидается, будет множество новых научно-технических разработок, которые будут особенно ценны для развития человеческого сообщества. Конвергенция - это не простой однонаправленный процесс. В природе существуют циклы конвергенции – дивергенции, которые следуют друг за другом с различными промежутками времени, причем это понятие применимо и к различным описанным выше платформам человеческой деятельности.

*Конвергенция* как процесс объединяет знания, технологии и приложения, как традиционно разных дисциплин, так и многих уровней абстракций и организаций. Это созидательный этап, начиная с которого спираль знаний приводит к интеграции/ синтезу этапа (Б). После интеграции возникает новая система, которая позволяет получить новые результаты в различных областях (фаза инноваций, С).

*Дивергенция* как процесс начинается после формирования новой системы и приводит к появлению нового опыта, продуктов и прикладных областей на основе знаний, полученных в процессе конвергенции. При этом формируется база для осуществления следующей инновационной спирали. Результаты становятся основой для новых процессов конвергенции, как показано на рисунке. Примерами моделей для этапа являются экспоненциальный случайный граф и последующий дивергентный каскад.

Стремительные темпы изменений в сфере науки и появление новых технологий требуют новых комплексных и функциональных подходов, которые при этом понятны должны быть понятны среднестатистическому пользователю. Таким образом, конвергенция выходит за рамки собственно науки и технологий, даже за рамки новых прикладных разработок – она включает в себя также и гармоничную унификацию самых различных видов социальной деятельности.

Одним из способов концептуализировать выдвинутые выше положения в рамках комплементарных функций человеческого мозга состоит в осознании того, что в реальности специализация полушарий головного мозга выражена не очень четко, причем разные люди отличаются друг от друга по степени специализации своих мозговых полушарий. Этап конвергенции характеризуется анализом, образованием творческих связей и интеграцией что лучше получается у левого полушария мозга. Этап дивергенции, который характеризуется синтезом или формированием новой системы, инновациями в целом спектре новых областей, поиском новых объектов (новых знаний, технологий и социальных механизмов) и множественными результатами, будет лучше выполняться правым полушарием мозга. Причем независимо от предпочитаемых человеком модели или образного представления, процесс конвергенции-дивергенции будет отражать *две взаимодополняющих (комплементарных) роли функций мозга*. Вслед за процессом конвергенции – дивергенции следует процесс принятия решений, который стимулируется необходимостью совершенствования и извлечения выгоды, что лежит в основе человеческого мышления и поведения и отражается в групповых организованных действиях.

Каждый процесс конвергенции-дивергенции за счет причинно-следственных связей соединён аналогичными предшествующими и последующими процессами, а также согласован с другими одновременно протекающими процессами СКТС в различных пространственно-временных масштабах. Одним из способов подробнее изучить и более эффективно использовать такие долгосрочные согласованности является привлечь для понимания изучения таких функций мозга, как созерцание и рефлексивность (“сосредоточение”) (Fishman 2004; Langer 1997), при этом уделяя наибольшее внимание самым выгодным решениям в ходе анализа релевантных событий с учетом предотвращения нежелательных последствий применения новых технологий. Сосредоточение достигается за счет расширенной перспективы контекстно-релевантных интерпретаций и восприимчивости, которые могут привести к выработке наиболее отдаленных комплексных инноваций и решений. Созерцание и рефлексивность в научных исследованиях и в образовании также могут служить основой для расширения человеческого потенциала и осознания единых целей в плане принятия долгосрочных решений, учитывая такие аспекты как здоровье людей, творческий потенциал и инновации.

В своем изучении и обсуждениях конвергенции науки, технологий и общества, члены нашей экспертной группы были вдохновлены немудреным рисунком, на котором изображен дирижер воображаемого оркестра (возможно, играющего "Музыку Сфер" Кеплера, или "Планыты" Холста), который символизирует собой координацию, необходимую для построения комплексного мировоззрения, в котором каждая конвергентная область науки или техники функционирует как один из инструментов такого оркестра. Эти инструменты играют все вместе, участвуя в различных комбинациях, необходимых для исполнения различных пассажей музыкальной партитуры. Подобно дирижеру оркестра, социальное управление должно активно и гармонично участвовать в координации общей композиции происходящей в настоящее время комплексной научной, технической и социальной конвергенции.

Одним из конкретных примеров описанных выше процессов конвергенции и конвергенции-дивергенции является развитие мобильной телефонной связи, в которой используется широкий спектр технологий, включая высокочастотную связь и пакетные коммутационные протоколы (для подключения к глобальным сетям); материаловедение и нанотехнологии (в процессорах, устройствах хранения данных, сенсорных экранах, антеннах и др.); и когнитивные исследования для интерфейсов типа человек-машина (для создания пользовательского интерфейса). Все эти результаты *конвергенции* привели около десяти лет назад к созданию “умного телефона”. В настоящее время результаты конвергенции в ходе *дивергенции* превращаются в тысячи различных приложений, которые сложно было даже представить 10 лет назад: от социальных сетей до систем управления группировками сравнительно дешевых спутников, а также множество других примеров, затрагивающих практически все аспекты жизни нашего общества. Оказанное рассматриваемыми технологиями воздействие на общество в свою очередь порождает вторичные воздействия на такие области, как национальная безопасность, образование, и когнитивные исследования.

Другим, более общим примером процесса конвергенции-дивергенции является осуществление крупных научно-технических программ, в которых за счет взаимодействия различных областей науки и техники достигается решение грандиозных технических и социальных задач.

### **§2.5. Фундаментальные исследования и глобальные задачи.**

Первым шагом к осуществлению “выходящему за рамки обыденного мышлению” является признание того, что эти рамки действительно существуют. И действительно, наука и техника являются системой различных доменов, а междисциплинарные работы является одним из способов выйти за пределы поставленных рамок. Но существуют и более общие концептуальные ограничения, которые может гораздо труднее осознавать, а поэтому и труднее за их пределы.

Один из самых интересных концептуальных моделей основ мышления в процессе достижения результатов исследований предложена Стоксом (1997), который систематизировал типы исследований в структуру, которую назвал “квадрат Пастера”. Эта структура определяется исследованиями, мотивация которых позволяет утвердительно ответить на два вопроса: “Важны ли соображения о практической полезности результатов?” и “Является ли исследование поиском фундаментальных принципов?” Мировоззренческое исследование может удовлетворять обоим этим критериям, но при этом возникают еще два других: “Приводит ли исследование к появлению принципиально новых прикладных разработок?” и “Является ли эта работа преобразующей в том смысле, что в ходе ее возникают совершенно новые идеи и изобретения?”

Методы CKTS могут быть использованы для установления связей между долгосрочными научно-техническими прогнозами и текущими фундаментальными исследованиями. “Вдохновляемых мировоззрением фундаментальных исследований”, характеризующего фундаментальные исследования, позволяющие получить прогнозируемые принципиально новые прикладные разработки (расположен за пределами четырехугольника Пастера).

Различные подходы к базовым исследованиям необходимы на этапах получения знаний проведения процессов конвергенции-дивергенции: подход Бора для творческого этапа (А), подход Пастера на этапе интеграции/ синтеза (В), и наконец, вдохновляемые мировоззрением фундаментальные исследования для этапа дивергенции (С и D).

Поскольку конвергенция является масштабным процессом, работающим по многим измерениям, по мере того, как она достигается, будут продолжать эволюционировать и её собственные цели и характеристики. Мы можем выделить три последовательных и перекрывающих друг друга этапа в конвергенции науки, технологий и общества, как описано в Таблице 1.

Основываясь на предыдущих NBIC исследованиях, в настоящем докладе предпринимается попытка сформулировать мировоззрение будущей социальной конвергенции и определить преобразующие действия для ключевых участников процесса. Мы также попытаемся понять механизмы конвергенции и методы достижения на ее основе наилучших результатов в различных областях человеческой деятельности, определить роли национальных научно-технических стратегий, и открыть подходы к управлению.

**Таблица 1 Три этапа конвергенции СКТС**

<b>Временные рамки</b>	<b>Этап</b>	<b>Характеристики</b>
2001–2010	Реагирующая конвергенция	Происходящее время от времени на несистематические совместные работы в отдельных областях для решения заранее определённых задач
2011–2020	Упреждающая конвергенция	Более устойчивый и всесторонний подход к конвергенции на основе более чёткого анализа решений; ближайшее будущее для СКТС
После 2020	Системная конвергенция	Целостный, высокоуровневый (мультидисциплинарный) подход, с использованием результатов конвергенции и участия государственных организаций

Конвергенция знаний, науки и технологий может быть выгодна человечеству по целому ряду причин. В некотором смысле, конвергенция может рассматриваться как единая великая задача, которая при успешном решении может открыть пути решения многих других крупных задач, стоящих перед обществом. Это происходит потому, что конвергенция обеспечивает прогресс, получение ценных результатов и интегрированный подход во многих человеческих предприятях, таких как:

*Повышение человеческого потенциала* является одной из основных целей развития общества. Все формы научного и технологического прогресса будут зависеть от интеллектуального развития человека, и его здоровья, которые в свою очередь будут необходимы для осуществления новых проектов и принятия взвешенных решений о конвергенции путей развития технологий, которые коренным образом влияют на его жизнь. Можно с уверенностью предположить, что физический и когнитивный потенциалы могут быть действительно в значительной степени повышены на индивидуальном и коллективном уровнях, и это совсем не нелепые мечтания, а логическое следствие развития прогресса в области образования, средств связи, информационных технологий и когнитивных наук.

*Целостный подход в здравоохранении* является основой поддержания физического здоровья человека. Hood and Flores (2012) выдвинули концепцию прогнозной, соучаствующей, профилактической и персональной медицины (в английском варианте – predictive, participative, preventive and personal – “P4”), на основе системной биологии. Люди не могут полностью реализовать свой потенциал, если они страдают от проблем физического или психического здоровья или хронических заболеваний. Конвергентные технологии обладают потенциалом, позволяющим улучшить диагностику и лечение рака, развивать восстановительную медицину, стимулировать иммунную систему человека, поддерживать его физические силы и увеличивать продолжительности жизни. Эти технологии также могут улучшать качество жизни человека на всех ее этапах, основываясь на достоверной информации об индивидуальных потребностях в питании и физических нагрузках, предоставляя индивидуальное лечение. Одним из необходимых инструментов для обеспечения здоровья и благополучия личности являются исчерпывающие данные о нем, в том числе и геномная информация, получаемая как самостоятельно пациентом без технической подготовки, так и профессиональными медицинскими специалистами, которые лечат данного человека. Всему этому могут существенно помочь знания о том, что было названо «когномом» (английское - "cognome"), или когнитивным эквивалентом генома, содержащим принципы контроля психических функций как отдельной личности, так и сообщества, к которой принадлежит этот человек.

Крепкое здоровье особенно важно для развивающегося организма ребенка. Давно известно, что профилактика заболеваний так же важна, как их лечение, но обеспечение здорового образа жизни нередко труднодостижимо как для отдельных лиц, так и для сообществ, особенно пока медицинские мероприятия и обеспечение досуга продолжают развиваться отдельными путями. Вполне возможно, что целостный подход к здоровью и развитию человека может внести существенный вклад в решение этой проблемы, но только если он основан на технологиях конвер-

генции и все более целостного понимания важности обеспечения физического и умственного здоровья.

Высококачественное и доступное здравоохранение в будущем потребует партнерства между медицинскими специалистами, их пациентами, учеными и инженерами. Медицина должна перейти от пассивной модели ситуационного лечения к активной конвергентной модели, от практики реагирования к практике упреждения, от ожидания кризиса к принятию профилактических мер. Необходимо также добиваться снижения стоимости медицинского лечения. Конвергенция на основе биомедицины представляется ближайшей важной целью для общества. Пять важнейших задач в области здравоохранения, которые могут быть решены в ближайшем десятилетии, иллюстрируют различные направления, участие в которых может принимать конвергенция:

- Усовершенствованные методы ранней диагностики рака и хронических заболеваний, выработка оптимальных методов лечения для каждого конкретного пациента с одновременным снижением числа побочных эффектов.

- Оптимизация сбора, анализа и обмена данными позволит отслеживать как состояние здоровья людей, так и множество параметров окружающей среды, что приведет к улучшению состояния здравоохранения и позволит проводить профилактику болезней.

- Благодаря эффективным методам борьбы с развитием болезней станет возможным обращать большее внимание восстановительным процедурам, включая такие направления как тканевая регенерация и передовые методы протезирования.

- Кардинальные успехи в такой комплексной области, как изучение иммунной системы человека, включая быстрый и эффективный анализ биомаркеров отдельных пациентов, позволят использовать иммунную систему в качестве контролера за здоровьем человека и стимулировать ее способности к восстановлению.

- На глобальном уровне произойдет реальное сокращение времени, необходимого для диагностики и лечения высоковирулентных инфекционных заболеваний, будут разработаны новые эффективные медицинские средства для реакции на угрозу эпидемий, спроектированы новые виды лекарств и вакцин для индивидуального применения, осуществлять поиск методов лечения ныне неизлечимых болезней.

Предполагается, что конвергенция сможет расширить пределы человеческих возможностей, рамки возможных решений, и улучшит инфраструктуру, что в итоге будет способствовать повышению производительности и созданию новых типов престижных и хорошо оплачиваемых рабочих мест.

Семинары рабочих групп по NBIC2, проведенные в Европе, Азии и Южной Америке, показали, что эволюция конвергенции играет существенную роль и оказывает стратегическое влияние на программы экономического развития во всем мире. Многие из современных работ стали возможными благодаря многолетним инвестициям в отдельные области NBIC nano-, био-, информационных и когнитивных технологий. Так Южная Корея является одной из стран, запустивших у себя программы конвергенции. Корея создает образовательные учреждения и государственные организации, занимающиеся конвергентной тематикой, и обеспечивает кооперацию этих учреждений с промышленными лидерами. Значительные вложения в NBIC осуществляет Европейский Союз, предпочитая при этом направлять ресурсы в определенные географические регионы, получая выгоды от агломерации и стимулируя кооперацию этих научных агломераций с частными компаниями. Согласно проекту Рамочной программы ЕС "Horizon 2020", ключевым моментом считается конвергенция в таких областях, как

- (1) социальные проблемы (проблемы здоровья, благополучия, старения населения),
- (2) обеспечение конкурентоспособности промышленных предприятий, и
- (3) достижение научного превосходства.

Основными целями программы ЕС 2020 являются разработки новых знаний, технологий, продуктов и приложений, которые смогут преодолеть разрыв между научными исследованиями и прикладными инновациями. На совместном семинаре по NBIC2 в г. Лувен (Бельгия) участники от ЕС в несколько иных терминах излагали в принципе аналогичный изложенному в данной ра-

боте подходу к CKTS, который ведет к инновационным циклам интенсификации знаний, капиталов и умений.

Можно утверждать, что конвергенция науки и технологий идеально подходит для американского стиля экономического развития, основанного на предпринимательстве в создаваемых с нуля компаниях (стартапах). Технологии NBIC могут также работать в стратегиях содействия экономическому развитию традиционно находящихся в тяжелом экономическом положении обществ.

Обычно конвергенция подразумевает увеличение разнообразия, а не унификацию, некоторого набора рациональных наиболее общих принципов. Таким образом, глобальное развитие экономики может идти одновременно с местной автономией. Так, например, развитие крупных самодостаточных городских сообществ может в основном опираться на возобновляемые источники энергии, такие как солнечная энергия, вырабатываемая на месте локально, и при этом такие агломерации сохраняют доступ всемирной информации. Конвергентные подходы могут способствовать укреплению организационной структуры корпораций и других организаций, что, в свою очередь должно положительно влиять на общую производительность. Прочность не является синонимом жесткости, поэтому организации должны принимать во внимание ценность многообразия мнений и проистекающей из этого многообразия гибкости, обусловленной дивергентной частью цикла конвергенции-дивергенции. Выгоды, извлекаемые из процесса конвергенции-дивергенции подтверждаются и другими исследованиями, такими, как теория возрастающей доходности.

Развитие производства за счет конвергентных технологий NBIC внесет существенный вклад в экономический прогресс и повышение качества жизни, поскольку именно производство является средством для создания богатства. Следовательно, эти обновленные производственные системы будут улучшать качество жизни человека благодаря развитию новых машин и аппаратов, что также непосредственно скажется на состоянии окружающей среды в планетарных масштабах. Кроме того, развитие производства будет сопровождаться возникновением новых общественно-социальных проблем в местах его наибольшей концентрации. По мере углубления наших представлений о конвергентных технологиях, мы можем выделить три направления развития производства, которые представляются наиболее перспективными.

- *Распределенное и взаимосвязанное производство* - обеспечивается гибкостью процессов, модульностью, внутрипроизводственной метрологией, прогнозированием исследований и технологий, а также взаимодействием типа человек-машина – все это позволяет значительно повышает как удобство производственных процессов, так и эффективное изготовление такой продукции, которая предельно соответствует требованиям заказчиков (от изготовления на заказ носимых датчиков с конкретными характеристиками до индивидуальных протезов частей тела или создания персональных художественных произведений). Кроме того, в такой системе максимально облегчены процессы масштабирования от опытного до крупного производства. Для того производства важным моментом будет использование кибернетических и физических систем.

- *“Процесс производства по типу ДНК”* - это определение является метафорой, которая подразумевает, что технологические процессы могут быть структурированы по тем же принципам, на которых основан генетический код. Это позволит быстро включать или исключать из технологической цепочки отдельные производственные процессы, за счет чего станет возможным легко контролировать и изменять параметры получаемых продуктов.

- *Интеграция социальных и физических наук* может оптимизировать методы конструирования и производств. При этом при определении необходимости выпуска тех или иных продуктов мы будем полагаться не только на рыночные механизмы, но и будем ориентироваться на устойчивость и благосостояние общества на всех этапах производственных циклов, учитывая накопление знаний, капиталов и квалификации работников в ходе инновационных циклов

- Примером, в котором действуют вышеописанные тенденции, является развитие производства интегрированных электронных наносистем, в котором изготавливаются как мощные системы с логической памятью, способные координировать работу разнообразных наноразмерных устройств, так и СМИ эти устройства: датчики, исполнительные механизмы, электрогенераторы,

программируемые резисторы, энергонезависимую память, индивидуальные системы для отдельных пользователей, и т.д.

организациям потребуется приспособиться к новым моделям обретения новых знаний и производственным моделям. Трансформация организаций и бизнеса под влиянием конвергенции будет происходить с учетом основных критериев, таких как улучшение экономической производительности, рост человеческого потенциала и обеспечение безопасности для жизни и здоровья, в также обеспечение устойчивого развития. Необходимыми элементами этого процесса являются как международное сотрудничество, так и международная конкуренция. Такая трансформация традиционных институтов необходима для их адаптации к меняющимся условиям, когда будет снижаться их роль в социальных и инспирированных СМИ движениях, но при этом они должны будут способны решать вопросы, связанные с возникновением новых возможностей или угроз, обусловленных новыми технологиями и новыми способами управления обществом.

## **§2.6. Устойчивое социальное развитие.**

Большинство концепций устойчивого развития во главу угла ставит поддержание и улучшение высокого качества жизни, которое будет характерно для общества в далеком будущем. При этом в целом признаётся, что текущее состояние энергопотребления, структуры водопотребления, сельскохозяйственной практики, структуры производства, а также климат, чистота окружающей среды, разнообразные сообщества и другие компоненты современной жизни и экономики сегодня нельзя признать устойчивыми. Современные промышленные выбросы вредных веществ угрожают как здоровью человечества, так и портят экологию, являясь при этом основной причиной климатических изменений.

Из-за отсутствия устойчивости в любой из перечисленных выше областей, человечество сталкивается не только с деградацией природной среды, но и с серьезными угрозами мирному мировому развитию, так как экономические кризисы в странах с «неустойчивыми» условиями зачастую приводят к власти недемократические силы. Возникающие вслед за этим конфликты еще более снижают возможности мира решать возникающие проблемы. Таким образом, очень важно объединить людей всего мира, и, как будет объяснено далее, научная конвергенция действительно может сыграть ключевую роль в этой глобальной унификации. Конвергенция знаний, наук и технологий обладает огромным потенциалом для содействия достижению целей устойчивого развития. Решающее значение в обеспечении устойчивости играет научное понимание потребностей общества. Например, конвергенция приведет к разработкам и производству экологически безопасных материалов. Конвергенция играет ключевую роль в развитии новых экологически чистых технологий, начиная от малых систем очистки воды до крупномасштабных опреснительных систем. Конвергенция может создавать технологии выделения редких материалов из сточных вод и морской воды. Конвергенция также приводит также к разработке и массовому внедрению датчиков, предназначенных для измерения в реальном времени широкого спектра индикаторов устойчивого развития: начиная от качества воздуха и воды и кончая контролем миграции животных и состояния здоровья ключевых видов животного и растительного царств.

Для обеспечения устойчивости можно представить себе конвергенцию множества технологий NBIC2 на базе, например, современных мегаполисов. Конвергенция интеллектуального программного обеспечения, повсеместное распространение датчиков и мобильных устройств может существенно повысить эффективность функционирования мегаполисов, обеспечивая оптимальные транспортные потоки, производство и потребление энергии, и производственные процессы. Решения на основе NBIC2 также могут быть использованы для повышения отказоустойчивости основных систем мегаполисов к стихийным бедствиям, террористическим актам, и каскадным сбоям систем.

Рассматривая системы более высокого порядка, чем мегаполисы, можно утверждать, что планета Земля представляет собой единую экосистему, на базе которой консолидируется унифицированная система производства, распределения и использования ресурсов. Таким образом, нашу планету можно рассматривать как сложную систему, каждое изменение которой затрагивает множество других переменных. При этом первостепенное значение приобретает мудрое

управление всей системой в целом. В качестве целей следует рассматривать решение таких задач, как повышение эффективности использования природных ресурсов, повышение производительности труда, защита окружающей среды и здоровья человека. Причем все эти задачи надо решать в планетарных масштабах.

Одной из таких общепланетарных проблем, требующих особого внимания, является изменение климата. Необходим свежий подход, который может быть более амбициозен, чем глобальные стратегии управления и адаптации прошлого, подход, целью которого будет общемировая интеграция усилий, направленных на создание единой системы сохранения окружающей среды. Конвергентные технологий NBIC2 могут стать основой для поиска методов, снижающих использование ископаемых топлив и методов улавливания углерода из атмосферы.

Учитывая, что мир является интегрированной природной, человеческой и технологической системой, невозможно будет добиться его устойчивого развития без создания *глобального банка данных и информационной инфраструктуры*. Рабочая группа указывает на необходимость создания *“Общепланетарного центра мониторинга”* - среды визуализации данных с полным эффектом присутствия, служащей для проведения совместных междисциплинарных исследований, моделирования и обучения, рассматривающей все системы планеты Земля как единое целое, отслеживающей динамику антропогенного воздействия на неё, и служащую для поисков вариантов решения задач, обеспечивающих долгосрочную устойчивость в планетарных масштабах. Такой центр может оказать существенную помощь координации в рамках Глобальной системы наблюдения за планетой Земля. Специализированные информационные базы данных должны быть доступны для экспертов, представляющих разнообразные научно-исследовательские дисциплины (климатологов, океанографов, разработчиков моделей, экспертов в области энергетики, нанотехнологов, системных биологов, информатиков, экспертов в области визуализации данных, экономистов, когнитологов, социологов-этологов, политологов, политиков, аналитиков и многих других), всех тех, работы которых необходимы для выработки вариантов долгосрочной планетарной устойчивости и экономического развития. Данный Проект подходит для государственно - частного и международного партнерства. Противоположные точки зрения могут учитываться на этапе конвергенции цикла конвергенции-дивергенции. На этом этапе также будут рассматриваться оценки рисков глобальных катастроф для существования глобальных мегаполисов, в глобальном потреблении ресурсов.

В будущем будет необходимо сосредоточиться на устойчивости глобального общества путём рассмотрения демографических и социальных потребностей, обеспечения управляемости обществом, и использования решений, предлагаемых CKTS, для обеспечения безопасной жизни на всей планете Земля.

Конвергенция науки и знаний даст возможность отдельным людям и сообществам искать новые пути для улучшения качества своей жизни. Технологии NBIC2 могут позволить обучаться всю свою жизнь, участвовать в принятии политических решений всем обществом, вносить свой вклад в общие информационные ресурсы, создавать программное обеспечение и другие товары и услуги. Однако, при создании всех этих средств необходимо учитывать ограничения познавательных способностей человека.

## **§2.7. Общество знаний.**

Можно представить себе важность конвергенции и когнитивных наук для обеспечения улучшения возможностей отдельных людей и человеческих сообществ. Как существование различных языков, указывает на то, что познание является в основном социальным процессом, так как концепции и понятия, распространенные среди людей, формировались со временем в рамках общих культур. *Основные компоненты* новой модели социального сознания включают в себя такие понятия как глобальное когнитивное общество, идея "когнома", объясняющая эволюцию нашего менталитета, когнитивные вычисления, познание и общение в групповой науке, а также когнитивное исследование науки.



Традиционным понятием, часто используемым для описания общественного сознания, является понятие "культуры", хотя сегодня иногда используются и такие термины, как "социальный интеллект" и "социальное познание". Таким образом, по аналогии с тем, как возникла когнитология, возможно, будет необходимо создать новую область, как "культурология", которая будет включать в себя выжимки из антропологии культур, социологии и социальной психологии, а также ряд других смежных областей, которые сегодня лежат вне сферы внимания современной когнитологии. В более широком смысле, когнитивная наука может помочь определить неразвитые ныне области науки, а также дать возможности для концептуальной унификации разобщенных высокоразвитых областей, обеспечивая, таким образом, широкое развитие прогрессов конвергенции.

Когнитивные концепции в управлении должны позволить использовать возможности конвергентных технологий для улучшения «социального познания» как отдельных людей, так и социальных групп. Обоснование этого утверждения основано на ключевой роли человеческого познания в выборе оптимального стиля поведения людей и человеческих сообществ, когда перед ними возникают требующие решения крупные проблемы, начиная от обеспечения общественного здравоохранения и кончая глобальным изменением климата. Человеческое познание играет главную роль в принятии решений на всех уровнях, даже таких решений, от которых зависит судьба человечества и всей планеты. Можно представить такую когнитивную концентрацию, когда произойдет объединение множества организаций и учреждений (как государственных, так и частных), которым будет делегирована возможность управлять развитием общества для достижения лучшего будущего для всех людей, то есть такую структуру, которое одна из наших рабочих групп охарактеризовала понятием "Когнитивное общество". Такое общество будет характеризоваться повсеместным использованием конвергентных когнитивных технологий, которые позволят принимать более эффективные решения, что приведет к увеличению благополучия общества и повышению качества здравоохранения. Для этого общества будет характерно повсеместное присутствие процессов познания: в ходе обучения человека в течение всей его жизни, в процессах передачи потоков информации между машинами и людьми на основе естественного языка, в принятии взвешенных решений на всех уровнях общества. Конвергенция может ускорить процессы превращения наших нынешних проблем из категории неразрешимых препятствий в категорию проектов планетарного масштаба.

Все эти преимущества можно получить за счет углубленного изучения того, что «когномом» - когнитивным эквивалентом генома, который определяет принципы контроля психических функций людей и сообществ, членами которых эти люди являются.

Когнитивная наука возникла в результате конвергенции полдюжины различных научных областей и теперь, когда она сформировалась как отдельное направление, у нее появилась возможность внести вклад практически во все области науки и техники, поскольку сами процессы *открытия и изобретения являются когнитивными процессами*.

Когнитологи должны изучить формы мышления ученых и инженеров в различных областях науки и техники, что должно привести к следующим результатам: (1) улучшение инструментального парка науки, (2) повышение уровня образования будущих ученых, (3) получение выводов, которые могут помочь ученым понять собственные процессы мышления, и (4) появление новых принципов конвергенции наук, на основе понимания принципов мышления ученых из разных областей науки (например, сравнение индукции и дедукции, качественного и количественного анализа, методов классификации и построения моделей). Методы конвергенции должны развиваться и улучшаться по мере развития самой науки конвергенции.

*Для поддержки конвергенции предполагается создавать интегрированные системы образования*). Смена технологий и методов глобальной экономики требует серьезной реконструкции систем образования как в школах и колледжах, так и систем повышения квалификации на рабочем месте, и возможностей получать образование в течение всей человеческой жизни. Это необходимо для *разработки гибких средств адаптации к изменениям, обусловленным конвергенцией, создания опережающих время образовательных программ, и превращения образования в двигатель творчества и инноваций*. Образование может включать в себя комплекс различных дисциплин, созданный на основе нового понимания процессов познания. Использование новых цифро-

вых средств, полученных на базе нанотехнологий, позволит создать более эффективные, интерактивные подходы к персонализированному образованию. Уже сегодня информационные технологии способны предоставить новые усовершенствованные возможности взаимодействия - такие как 3D-видео/отображения текста, звуковые средства обучения (в том числе интерактивные диалоги и другие голосовые функции), методы "захвата движений", создание виртуальных реальностей или усиления органов чувств, и множество других средств, предназначенных для персонализации учебного процесса и возбуждения интереса у обучаемых.

Успешное развитие *личностно-ориентированного подхода к образованию* потребует более четкого осознания каждым человеком своего уровня знаний и компетентности, обеспечения возможности проведения автоматической оценки уровня компетентности, и успешности обучения.

Следует уделить внимание изменению базовых принципов обучения в университетах и техникумах, в которых обучение на первых курсах будет начинаться с изучения обобщенных природных концепций, фундаментальных инструментов NBIC и основ конвергенции, а не с введений в основы частных дисциплин.

Хотя в новой системе основное внимание будет уделяться конкретным обучающимся, не менее важно будет разработать принципы *глобальной образовательной среды*. Например, необходимо, чтобы все учебные материалы могли быть загружены из единого центрального хранилища в локальную память в режиме реального времени. Необходимо также создать распределенную международную "сеть конвергентных знаний и технологий", обладающую многоотраслевой базой данных, учебными модулями и оборудованием. Концепции географически распределенных сетей пользователей, такие как Национальная нанотехнологическая инфраструктурная сеть и Сеть вычислительных нанотехнологий, могут быть расширены с целью создания кластеров конвергентных технологий.

Прогресс в конвергенции систем образования потребует *поддерживающей инфраструктуры* как минимум трёх типов: *физическая инфраструктура* (включающая лаборатории и предприятия опытного производства по различным конвергентным платформам), *информационная инфраструктура* (такая, как "универсальные" массивы баз данных и средства доступа к ним) и *ведомственная инфраструктура* (профессиональные ассоциации, производственные объединения и государственные органы).

Распределенная Национальная сеть конвергентных знаний и технологий может включать в себя мультидоменную базу данных, учебные модули и оборудование. Крайне необходимо снабдить обучающихся производственными испытательными стендами с дистанционным доступом к оборудованию, что необходимо для эффективного обучения в различных дисциплинах и для дистанционного обучения.

Конвергенция наук и технологий позволяет все большему числу людей вносить свой вклад в науку. Наука обозначает реальное участие неспециалистов в научных исследованиях и в конструкторских разработках. И ранее в истории были известны случаи, когда случайные граждане вносили свой вклад в науку. Можно привести целый ряд примеров, таких как проведение сбора окаменелостей и передача их специалисту-палеонтологу для изучения, использование добровольцев в медицинских экспериментах, и ответы на анкетирование в социальных исследованиях. Но только недавно использование новых информационных технологий позволило значительно расширить участие людей в научных изысканиях. В качестве примеров можно привести участие астрономов-любителей в классификации галактик в изображениях "Хаббла", объединение тысяч любительских наблюдений за жизнью птиц, или проведение сетевых экспериментов в таких системах, как "Mechanical Turk". Показательным примером «гражданской инженерии» является разработка свободно распространяемого программного обеспечения, когда волонтеры уже создали десятки тысяч полезных компьютерных программ, в том числе даже отдельную операционную систему Linux. Ранее в "гражданской науке" использовался бесплатный труд добровольцев, но постепенно они стали вовлекаться во все более сложные процессы, а с момента конвергенции науки и обществом разные области науки могут еще теснее переплетаться друг с другом за счет вовлечения в научное творчество все большего числа людей, поощряемых развитием "гражданской науки".

Для полного развертывания потенциала "гражданской науки" и "гражданской инженерии" нужно решить целый ряд задач. Необходимо разработать эффективные инструменты для осуществления совместной работы. Эти инструменты, надежные, простые в использовании и способные видоизменяться и расширять область своего применения, могут стать полезными далеко за пределами своей первоначальной области, для которой они разрабатывались. Обмен информацией и научное образование на самых разных уровнях должны быть интегрированы с исследовательскими целями, чтобы расширять возможности для совершения научных открытий, а не обременять проекты чрезмерными затратами на обучение специалистов. В большинстве случаев "гражданским ученым" не платят за их работу, поэтому необходимо найти другие мотивации для их труда, чтобы само участие в работе было для них ценным. Очень важно акцентировать внимание именно на научные цели работ. В принципе и сами ученые являются гражданами, поэтому "гражданская наука" может служить инструментом для объединения различных областей наук. Эта замечательная тенденция будет иметь серьезные последствия для общественного образования, а также сыграет большую роль в создании хорошо информированного общества, которое сможет компетентно участвовать в управлении развитием науки и техники.

В перспективе конвергентное развитие наук и технологий будет способствовать накоплению и потенциальной революции в человеческих знаниях, пределы которых становятся практически безграничными. Мы уже наблюдаем конвергенцию различных научных дисциплин, принципов проектирования и трансформацию инструментов познания. Междисциплинарные подходы связывают воедино различные области знаний, что в свою очередь ведет к возникновению новых знаний. Конвергенцию можно уподобить двигателю, работающему на "единение" знаний, позволяющему связать воедино гуманитарные, естественные и социальные науки.

Рост инноваций в современном мире происходит именно за счет интеграции науки, техники и общества в единую систему. В цикле конвергенции-дивергенции исходные знания могут черпаться из любой области CKTS, а результаты могут быть получены также в любых других областях CKTS. Особое внимание должно быть уделено НИОКР во «вдохновляемых мировоззрением фундаментальных исследованиях» в стратегических областях, при этом осуществляя практические разработки на базе сделанных открытий.

Процесс конвергенции можно разделить на два основных этапа: (1) новаторская, творческая переработка элементов предыдущих знаний и технологий в новую систему, и (2) использование оригинальной инновации в других областях, которые могут существенно отличаться от оригинала по материалам, целям и конструктивным принципам, что в свою очередь приводит к созданию новых устройств. Изучение способов миграции инноваций между областями, могут не только укрепить конвергенцию конструирования в разных дисциплинах, но также позволит отдельным дисциплинам разрабатывать совершенно новые подходы, основываясь на базовых знаниях из других областей. Целью является нахождение базовых принципов, на основе которых можно будет объединить ранее отдельные области. Новые основы коммуникаций и конструирования, включающие в себя аппаратное программное обеспечение, познание и культуру – все это может ускорить спираль творческих и инновационных процессов за счет ускорения объединения все большего числа базовых дисциплин.

Конвергенция предполагает рост уровня междисциплинарности в ходе решения научных и технических задач, разработок методов проектирования и инструментов производства. В дополнение к интегрированной образовательной системе, которая рассматривается как часть инфраструктуры, существуют еще три компонента конвергенции: вычислительные средства для конвергенции, образование для конвергенции, и запас знаний для конвергенции.

*Вычислительные инструменты для конвергенции.* В течение последних нескольких десятилетий в каждой из четырех дисциплин NBIC и в других областях были разработаны мощные средства для научно-инженерного компьютерного моделирования и инструменты для обработки материалов. Теперь необходимо создать новый класс инструментов для решения проблем на стыках различных дисциплин. Например, разработать средства для проектирования человеко-машинных интерфейсов, основываясь как на знаниях в области электроники, так и на достижениях когнитивных наук. Необходимо также поддержать усилия, направленные на создание новых принципов моделирования.

*Образование для конвергенции.* Такие впечатляющие новые инициативы как "Coursera" и EdX позволяют глобальной аудитории осуществить дешевый (или вообще бесплатный) доступ к высококачественным образовательным ресурсам за счет использования так называемых "МООС" (массовые сетевые курсы свободного доступа). Необходимо провести аналогичные крупные инициативы для разработки новых подходов к образованию, соответствующему эпохе конвергенции, которая потребует новых средств компьютерного моделирования и новых подходов к образованию. Всеобщее распространение относительно дешевых образовательных ресурсов необходимо как для практикующих ученых и инженеров, так и университетам для построения учебных программ, по мере эволюции этих программ под влиянием конвергенции.

В более широком смысле, результатом конвергентного образования может стать также укрепление сотрудничества между людьми и снижение числа конфликтов на поведенческом и культурном уровнях. Это особенно важно на фоне ограниченности природных ресурсов и появления все более мощных средств разрушения, в сочетании с усиливающейся перенаселенностью нашей планеты.

*Багаж знаний для конвергенции.* Сотни лет ученые и инженеры в своей работе для получения информации использовали публикации и архивы в какой-либо конкретной, узкой области знаний, в то время как конвергенция должна обеспечить обмен информацией между любыми областями науки и техники. В свое время электронная служба препринтов arXiv.org стала пионером в осуществлении быстрого обмена публикациями между целым рядом областей математики. К сожалению, в других научных дисциплинах не удалось достичь достигнутого этой системой успеха. В то же время, конвергенция требует *кардинального преобразования существующей практики научных публикаций*, что чревато существенными экономическими, организационными и техническими трудностями.

Проблему *обмена данными и публикациями* можно относительно просто решить, хотя свободный обмен информацией противоречит коммерческим интересам многих современных организаций и издательского бизнеса. В то же время, даже если все научные и технические журналы будут лежать в свободном доступе в Интернете, все равно для достижения конвергенции нужно будет провести много работы, хотя бы потому, что в каждой области есть своя специфическая терминология, а первоклассные научные исследования сегодня публикуются на все большем числе языков. Таким образом, необходимо будет разработать новые более эффективные инструменты для поиска, перевода и комментирования публикаций. Кроме того, на основе наиболее общих концепций мы должны будем достичь интеллектуальной унификации.

Все чаще деятельность человека становится встроенной в сложные системы, в которых смешаны социальные и технические компоненты, сложным и динамичным образом взаимодействующие между собой. Учитывая, что некоторые аспекты жизни общества уже сегодня организованы в комплексные социально-технические системы, возникают вопросы, могут ли и другие стороны жизни развиваться в том же направлении, какие инновации необходимы, чтобы обеспечить эффективную работу различных систем, и должны ли мы рассматривать методы управления всем обществом, как методы управления единой технической конвергентной системой? По мере роста и развития общества *знания инструменты математического моделирования и компьютерного моделирования становятся интеграторами во всех прикладных областях.*

Обмен информацией является одним из факторов стимулирования повышения эффективности сотрудничества и создания виртуальных организаций (VO), которые возникают во многих специальных областях науки вокруг общего инструментария и архивов данных. Один из барьеров на пути общения между такими организациями является то, что они используют различные стандарты аппаратного и программного обеспечения, различные базы данных и метаданные. Эта проблема возникла несколько лет назад при создании архивов сканированных изображений мозга, так как разные лаборатории использовали в работе каждый свои процедуры и стандарты. На сегодняшний день образовано только небольшое число VO, причем в смежных областях, между которыми относительно легко наладить связи. Предполагается, что проблему можно будет решить по мере роста числа VO в различных областях науки. Возможно, федеральному правительству придется создать ряд всеобъемлющих цифровых библиотек, подобных Национальной медицинской библиотеке или Библиотеке Конгресса США. Для конвергенции также необходимо будет

создать универсальные базы данных различных уровней. Часто отдельные научные ассоциации создают свои собственные стандарты для записи информации и аналитических методов. Представляется логичным, что то же самое может быть сделано на высоком уровне агрегации, хотя это и может превратить науку в менее гибкую систему.

Проблемы управления конвергенцией включают в себя такие вопросы как разработка фонда междисциплинарных знаний, поддержка инновационных цепочек от определения приоритетов до общественного использования результатов исследований, учет широких социальных последствий, включая управление рисками, создание инструментов и подготовка людей и организаций для справедливого распределения в обществе преимуществ от новых технологий.

В управлении знаниями и технологиями в настоящее время участвуют очень сложные экономические, правовые и управленческие системы, и представляется маловероятным, что учреждения, организованные десятилетия назад, будут успешно справляться с работой в современных быстро меняющихся обстоятельствах. Существуют явные признаки того, что указанные проблемы являются эндемичными (присущими) текущей системе, что отражается в публичных дискуссиях по поводу об изменении климата, в обсуждении вопросов здравоохранения, инвестиций для национальной обороны, и в целом ряде других вопросов, имеющих существенную научно-техническую компоненту.

Решающую роль, но возможно не ту, которая им традиционно предписана, будут играть социальные науки. Здесь, возможно, потребуется коренным образом поменять наши базовые представления. Например, кажется очевидным, что социологи должны проводить интенсивные, разнообразные, но скоординированные исследования последствий второго порядка от внедрения новых технологий. Эти исследования необходимы как для выявления непрогнозируемых, могущих быть использованными, позитивных результатов, так и для выявления непреднамеренных негативных последствий, которые необходимо избегать. Но как именно должны работать социологи, чтобы не тормозить прогресс и не навязывать субъективные предубеждения? Еще один пример: последние достижения в области коммуникационных технологий могут обеспечивать широкое привлечение общественности к процессам принятия решений, но это увеличивает риски принятия решений, основанных не на профессионализме, а на распространенных иллюзиях и мифах, раздутых средствами массовой информации. Сегодня можно выделить два подхода, хотя в дальнейшем возможно появятся и другие. Во-первых, современные методы, основанные на традиционных опросах, проводимых интерактивно, позволяют оценить приоритеты важные для общества, определить основные востребованные обществом задачи, с тем, чтобы эксперты в различных областях науки и техники смогли определить пути достижения этих приоритетов. Во-вторых, в каждой научно-технической области рядовые граждане могут выбрать профессионалов, например, ученых или промышленных лидеров, которые будут выступать в качестве их представителей при принятии решений в данной области.

Преобразующая сила конвергенции должна быть использована во благо человеку, что означает только наличие благих намерений, но также присутствие основанной на фактах мудрости, позволяющей избегать непреднамеренные негативные последствия. Делая акцент в стратегических областях на конвергентные технологии и на базовые исследования (по Квадрату Пастера), не следует забывать о важности фундаментальных исследований, которые способны нарисовать нам картину вселенной, в которой мы существуем. Тот факт, что некоторые технологии готовы в ближайшей перспективе к прикладному применению, не должен заставлять нас вкладывать меньше средств в новые технологии, которые еще не достигли такого уровня зрелости. Действительно, квадрант “вдохновляемых мировоззрением фундаментальных исследований” может быть особенно ценным в тех областях, которые на сегодня еще не сформировались, и где может еще не существует эффективной парадигмы для оценок этических последствий. Ученые в таких областях как биотехнологии и нанотехнологии традиционно несут официальную ответственность за этические, правовые и социальные последствия (ethical, legal and social implications - **ELSI**) своих открытий. Хотя этот принцип, как правило, и не распространяется на информационные технологии, сегодня его необходимо будет применять и ко всем областям конвергентных технологий.

Многообразие сегодняшних взглядов как на прошлое, так и на будущее зависит от того, рассматривает ли кто-то конвергентные технологии в качестве источника новых возможно-

стей, или как клубок рисков, либо мировоззрение представляет собой смесь этих двух представлений. Формирование полного спектра всех мнений будет ключом для общения к обществу. Важно выложить на стол для обсуждения все мнения, после чего можно будет провести их эмпирическую оценку и классифицировать их по значимости. Важно рассмотреть, как наше общество ранее реагировало на ранние этапы конвергенции, и соотнести этот опыт с современными возмущающими факторами, которые могут сопровождаться крупными социальными переменами.

Наиболее насущной задачей является *поддержка рационального управления концептуальными идеями*, из которых можно выделить позитивные возможности, при этом не обманываясь ложными фантазиями, основываясь на опыте прошлых лет, который по-прежнему хорошо работает.

Группа экспертов определила синергетические возможности для международного сотрудничества в проектах CKTS, ведущих к общественной выгоде. Было предложено создать международную сеть для выявления и обсуждения методов конвергенции.

Описанные выше предполагаемые выгоды от конвергенции могут быть воплощены в жизнь посредством *инициативы CKTS*. В настоящей работе предлагаются новые идеи того, как улучшить процессы принятия решений и подходы к преобразованию, основываясь на:

- a) *процессах конвергенции-дивергенции* в науке, технологиях и их прикладных применениях;
- b) *целостном дедуктивном подходе*, основанном на восходящих и нисходящих междисциплинарных горизонтальных взаимосвязях между знаниями, технологиями и общественными системами;
- c) введении высокоуровневых (мультидоменных, конвергентных) языков в планировании и управлении; и
- d) вдохновляемых мировоззрением фундаментальных исследованиях и грандиозных задачах, обусловленных конвергенцией.

Кроме того, (e) было бы неплохо объединить государственные и частные усилия, которые сегодня де-факто прилагаются к неуправляемой конвергенции знаний, технологий и общества, и направить их на инициативный систематический подход, который может сосредоточить разрозненные усилия в согласованную деятельность, и сосредоточить наши лучшие знания и способности в работе на благо как национальных сообществ, так и всего человечества в целом. Основываясь на этих пяти идеях при проведении НИОКР необходимо поддерживать вдохновляемые мировоззрением фундаментальные исследования и ставить масштабные задачи.

Для проведения Инициативы CKTS в США, которая позволит воспользоваться преимуществами конвергенции как фундаментальной возможностью для прогресса, потребуются согласованные усилия, использующие *пять компонентов поддержки* (Центры, Технологические Платформы, Программы, Организации и Правительственная Координация), которые будут описаны ниже.

• **Теории и Методы CKTS.** Работа этих центров должна быть посвящена вопросам измерения, оценок и нахождению информационных подходов для платформ и процессов конвергенции. Центры должны будут исследовать теории, модели, методы, учреждения, и другие параметры, которые могут стимулировать или, наоборот, тормозить конвергенцию. Методы могут включать в себя математические и социальные модели конвергенции, развитие многоотраслевых языков и инструментов, подходы к созданию эволюционных систем, открытое сотрудничество, общице для различных дисциплин методы проектирования. Методы должны включать в себя разработки принципов построения и использования будущих социально-технических лабораторий, как прототипов систем совершенно нового типа. Такие центры будут изучать практическое применение и стратегии развития конвергентных наук, технологий и производства, а также выявлять наиболее практически значимые результаты.

• **Образование в CKTS.** Будет создана распределенная сеть для решения проблем образования, как “большой задачи” CKTS. Эта сеть будет основана на системной интеграции как по горизонтали (между дисциплинами), так и по вертикали (обучение в течение всей жизни человека). Это важно для решения вопроса, сколько знания необходимо для построения и поддержания технологической инфраструктуры, необходимой для поддержки достаточно высокого качества жизни.

ни. В образовании важно построить единство знаний (Gregorian 2004). Такая сеть должна обеспечивать создание и поддержание творческой инновационной экосистемы на основе конвергенции. В ее основе будут лежать многоотраслевые базы данных, модули конвергентного образования, и необходимое пользовательское оборудование. Эта сеть сама по себе может породить новые программы и принципы для обучения последующих новых поколений ученых и практиков.

- **СКТС и биомедицина.** Рассматриваемые центры конвергенции позволят сблизить биологию и медицину, науку и технику для создания новых прикладных биомедицинских разработок. Это направление особенно важно для конвергенции, так как в нем уже сегодня отмечается серьезный научный прогресс и отмечается значительная социальная заинтересованность. Кроме того, это направление может как оказать долгосрочное и отдаленное воздействие на развитие медицины, так и дать немедленные преимущества системе здравоохранения.

Создание в областях, представляющих национальные интересы, исследовательских платформ, изучающих конвергенцию знаний, науки, техники, и общества, позволит сосредоточить основную массу НИОКР на решении приоритетных задач. Основное внимание будет уделено базовым парадигмам конвергенции. Ключевыми приоритетами являются:

- **СКТС - Продукты.** Изучение устойчивых и распределенных конвергентных производственных технологий (NBIC) (таких как распределенное производство с использованием кибернетики, нанобиотехнологии, и «человеко-машинные» кибернетические системы) могло бы увязать создание различных прикладных устройств с реальными потребностями целого ряда платформ, таких как семья, человеческие сообщества и мегаполисы. Повышенное внимание вновь возникающим технологиям производства позволит в будущем получать продукты с высокой добавленной стоимостью.

- **СКТС - Сенсоры.** Для отдельных видов продукции могут быть созданы более специализированные платформы. Например, *универсальные устройства контроля окружающей среды* могут собирать разностороннюю информацию и предоставлять ее как непосредственно собственникам этих устройств, так и отправлять ее в глобальные облачные базы данных. Сводная информация из "облака" (напр., качество воздуха в конкретном регионе) может быть получена физическими лицами в режиме реального времени. Ускоренное развитие производственных систем за счет разработки новых знаний, технологий, и продуктов позволяет сократить разрыв между научными исследованиями и инновациями, что является важнейшей глобальной целью на будущее, и позволит достичь высокого инновационного потенциала, экономического роста и конкурентоспособности.

- **СКТС - Когнитивное Общество.** Идея "Когнитивного Общества" в управлении позволит усилить и ускорить использование конвергентных технологий для укрепления социального познания как отдельных лиц, так и человеческих сообществ. Особенностью такого общества будет повсеместное распространение конвергентных когнитивных технологий, используемых для принятия более эффективных решений, повышения благополучия человека и общественного здравоохранения. В этом обществе обучение человека будет происходить в течение всей его жизни, причем для общения между человеком и машинами будут использоваться естественные языки. Платформа СКТС - Познавательное Общество будет нацелена на то, чтобы как можно скорее перевести наши текущие задачи из категории «неразрешимых проблем» в решения планетарных масштабов.

- **СКТС - Картографирование мозга.** Это техническая задача, целью которой является реконструкция нейронной активности человеческого мозга и всех его нейронных цепей, что станет большим шагом на пути понимания протекающих в мозгу процессов в норме и патологии. Приоритеты в исследованиях мозга должны сместиться с изучения нейрона на исследование синапсов, как основных элементов мозговой деятельности.

- **СКТС - Когнитивные Вычисления.** Необходимо создать новую парадигму вычислений, в которой когнитивные системы и алгоритмы распознают содержание и задачи без использования искусственных языков программирования. При этом такие системы должны обладать способностями к самообучению в неопределенной и изменяющейся среде. Скорее всего, такая концепция будет реализована в начале следующего десятилетия. В настоящее время единственная система, которая способна осуществлять подобный анализ - это человеческий мозг.

• **CKTS - Устойчивое снабжение водой, энергией и материалами.** Подразумевает использование сточных вод, солоноватых и морских вод, рассолов, а также источников чистой воды, энергии, питательных веществ, и важных материалов. Исследования в области CKTS будут использованы для разработки надежных процессов и систем, обеспечивающих (1) повторное использование сточных вод и (2) опреснение солоноватой и морской воды. При этом одновременно будет осуществляться восстановление (а) энергии (напр., выработка электроэнергии за счет градиента солености, или производство водорода с помощью разложения соленой воды), (б), питательных веществ (азота и фосфора), и (с) ценных металлов (например, лития, магния, урана, золота, серебра и др.).

• **CKTS - Устойчивое развитие городских сообществ.** При создании *устойчивых городских сообществ в двадцать первом веке* будут использоваться исследования CKTS как для изменения конфигураций существующих мегаполисов, так и для построения в будущем «интеллектуальных» городов, снабженных:

(1) более доступным/трансформируемым жильём и распределенными энергетическими и водными инфраструктурами,

(2) более эффективными сельским хозяйством и системами производства и доставки пищи,

(3) более энергоэффективными транспортными системами, и (4) распределенными инфраструктурами здравоохранения, более чистой окружающей средой, и равными для всех возможностями трудоустройства.

Данные о социальной конвергенции, системные и информационные исследования позволят добиться интеграции данных и информации по всем темам, во всех масштабах и временных интервалах. Необходимо проведение исследовательских программ, изучающих фундаментальные аспекты. Основными приоритетами являются:

• Методологии для оценки производительности конвергентных экосистем.

• Интеграция баз данных по человеческому мозгу, с данными по такой системе как планета Земля в целом.

• Пересмотр правил и положений для внедрения индивидуального и группового инновационного творчества в область конвергентных процессов в экономике, что является ключевым условием достижения высокой конкурентоспособности.

• Внедрение эффективных механизмов управления рисками во вновь возникающих и конвергентных технологиях.

• Развитие новой научной парадигмы и широкое оповещение о ней.

Необходимым условием для осуществления конвергенции является трансформация организаций и бизнеса. Главные приоритетами в этом процессе являются организации, которые могут:

• *Отслеживать развитие человеческого потенциала*, физического и психического, на индивидуальном, групповом и общественном уровнях с помощью инструментов конвергенции.

• *Анализировать эффективность принятых решений* с использованием в качестве руководства цикла конвергенции-дивергенции, что потребует инструментов для сбора и анализа данных, которые работают на разных уровнях дифференцировки, а также развития теорий, описывающих системы, которые могут достигать гомеостатического равновесия по одним показателям, одновременно развиваясь по другим параметрам.

• *Поддерживать и расширять возможности "гражданской науки"* за счет поддержки операции и предоставления доступа к инструментам конвергенции, например к общим базам данных. Это означает, доступ к информации и помощь в образовании и обучении желающих стать коллегами ученых, что приведет к улучшению научной работы, повышению уровня образования, и будет содействовать конвергенции науки с обществом.

В число этих возможностей входят такие области, как здравоохранение помощь пожилым людям, то есть те области, где государство всегда играло существенную роль. Основные приоритеты находятся в следующих областях:

• **CKTS – Федеральное управление конвергенции.** Это управление должно будет отвечать за выявление, стимулирование и координацию возможностей конвергенции на федеральном



уровне, налаживать связи в этой области между федеральным правительством и местными органами власти, частным сектором и гражданскими организациями. Управление должно четко осознавать идеи, заниматься долгосрочным планированием, инвестиционной политикой, организационными структурами, и давать оценки. Оно должно будет пересматривать правила и положения для продвижения индивидуального и группового инновационного творчества в области конвергентных процессов в экономике, что является важнейшим условием конкурентоспособности. Управление также должно будет способствовать интеграции пяти компонентов CKTS (конвергенция центров, технологических платформ, программ, участие в процессах как частных, так и государственных организаций) с существующими координационными организациями и программами, в том числе с программами Национальной Нанотехнологической Инициативы (NNI), Национальных Информационных Технологий Исследований и Разработок (NITRD), Программой Исследования Глобальных Изменений (GCRP), и с рядом сходных инициатив. Как минимум один из отделов данного Управления должен будет заниматься «конвергенцией национальных исследовательских программ и программ развития», что необходимо для принятия эффективных управленческих решений

- **CKTS – Здоровье.** Ожидается разработка глобальных, рассчитанных на многие годы подходов для обеспечения индивидуального физического и психического здоровья, общего развития человека и оздоровления всего общества. Медицине необходимо переходить от концепции реагирования, то есть лечения уже возникших болезней к профилактическому и предупредительному обслуживанию. Вопросы здоровья приобретают все большую актуальность с расширением социальных взаимодействий, старением населения, и с необходимостью поддержки стабильной среды обитания. Эти вопросы включают в себя и моральный климат, как в семейных межличностных отношениях, так и в обществе в целом. *Технологии для стареющих популяций* должны использовать интегрированные информационные ресурсы и данные научных исследований для обеспечения существования человека, семьи и сообществ, в оказании помощи странам всего мира и их стареющему населению. Для совместных научных исследований в этой области существуют прекрасные возможности, причем в них могут принять участие Соединенные Штаты, Европейский Союз и страны Азии, включая Корею, Японию и Китай.

- **CKTS - Земля.** Исследования устойчивых систем планеты Земля будут посвящены эволюции взаимодействий между природными системами Земли и человеческими сообществами, конвергентными технологиями, и ростом численности населения. Мониторинг и коррекция устойчивых систем планеты Земля может проводиться за счет создания единой системы, координирующей все исследования общепланетарных процессов. Особое внимание будет уделяться нахождению эффективных способов сохранения биоразнообразия и поддержания оптимального уровня азота и углерода в окружающей среде. Это потребует налаживания широкого международного сотрудничества, а также кооперации между различными областями экономики, чем и будет достигаться полная социальная конвергенция.

- **CKTS - Конвергенция в обществе.** В рамках этой программы будут рассматриваться этические, правовые и социальные аспекты происходящей в обществе конвергенции. Прогресс должен быть достигнут за счет баланса (например, одно только выравнивание условий само по себе уже создает прибыль, что потребует беспристрастных оценок широких последствий внедрения крупных инноваций и их влияние на функционирование комплексной системы, такой как наша планета. Использование конвергентных технологий требует предварительного обсуждения, чтобы оценить потенциальные риски для их потребителей и для всего населения. *В принятии решений должны принимать участие общественность и нейтральные наблюдатели.* И в передовых демократических обществах, и при авторитарных режимах в странах развивающегося мира, правительство зачастую попадает под жесткую критику, и есть основания полагать, что традиционные институты управления не способны справиться с быстро меняющимися вызовами будущего. Основная опасность состоит в том, что разочарование будет порождать еще более худшие результаты. Таким образом, необходимо будет провести беспристрастные и объективные исследования, которые укажут нам, какие традиции нужно сохранить, и какие можно применить новые методы для получения улучшенных государственных решений.

**Интеграция** пяти основных компонентов СКТС-Инициативы позволит нам извлечь выгоду из результатов базовых исследований NBIC, которые были инициированы Национальной нанотехнологической инициативой, из Программы исследований и разработок сетевых и информационных технологий, Инициативы исследований глобального изменения климата, GEOSS, и ряда других инициатив. В свою очередь, Инициатива СКТС также может быть использована для развития указанных проектов.

Основными стимулами для проведения новых государственных программ в конвергенции будет включение в них тех вопросов, в которых конвергенция может быть использована для достижения национальных интересов:

- «Конвергентные революционные технологии для индивидуального пользования», которые включают в себя предоставление возможностей для персонального образования, медицину, производство, общие услуги (сетевые или несетевые), и построение персональной интеллектуально-экологической и культурной среды

- Когнитивное общество и обеспечение здоровья в течение всей жизни
- Распределенное NBIC-производство (конвергенция в производстве)
- Конвергенция в биомедицине (науки о жизни, физические науки и инженерия)
- Рост человеческого потенциала (конвергенция с акцентом на повышение человеческого потенциала, включая "человеко-машинные" взаимодействия, компьютерная поддержка совместной деятельности, комплементарная робототехника, прямые связи "мозг-мозг", когнитивные вычисления, и картографирование деятельности человеческого мозга)

- Устойчивые системы планеты Земля (новые тенденции в конвергенции ресурсов-технологий-сообществ, в том числе глобальный мониторинг динамических систем Земли и методы влияния на них, урбанизация и рациональное расселение населения)

- Содействие творческой деятельности, инновациям, и анализ решений для получения добавленной стоимости

- Создание Управления «Федеральной конвергенции знаний и технологий» (CONEKT), работа которого состоит в разработке конвергентных подходов, а также создание других Федеральных управлений для приоритетных платформ конвергенции (напр., для государственных программ по науке, технологиям и инвестиционному планированию.)

### **§2.8. Будущее конвергентное общество.**

СКТС может проявляться на всех уровнях знаний, технологий и общества, и, как правило, является результатом идущих снизу вверх процессов и многоотраслевых причин. Конвергенция находится на переднем крае научного и технологического развития, обещая стать одной из основных интегральных областей знания и преобразующей силой, как это уже произошло с информационными технологиями и нанотехнологиями. Инициатива СКТС, описанная выше, потенциально может оказать воздействие на все аспекты жизни общества, от улучшения образования до повышения общего уровня здоровья, от достижения экологической устойчивости до стимулирования инновационного развития экономики. Конвергенция открывает волнующие перспективы получения новых знаний, идей, материалов, и технологий. Её влияние на повседневную жизнь нас и наших потомков, как ожидается, будет чрезвычайно позитивным, особенно в таких областях как образование, работа, развитие и жизнь престарелого населения.

Социальная конвергенция обладает потенциалом для значительного и эффективного улучшения человеческих возможностей, повышения экономической конкурентоспособности и обеспечения безопасной жизнедеятельности. Существует настоятельная необходимость как на международном, так и на национальном уровне воспользоваться этими возможностями и принять конкретные меры для осуществления конвергенции своевременным наиболее эффективным образом, чтобы решить серьезные проблемы, сегодня стоящие перед человечеством.

### **Обзор стратегических целей NBIC-конвергенции.**

Основная цель серии семинаров, получивших название NBIC2 и проводившихся в 2011-2012 гг. Состояла в том, чтобы определить стратегическую перспективу конвергентных подходов

на ближайшее десятилетие с учетом инициативы *CKTS*<sup>10</sup>. Поэтому долгосрочные представления поэтому связаны с предпосылками, поскольку они очень важны для планирования краткосрочных исследований и приоритетов в развитии. Исследование *NBIC-конвергенции* 2001 г. и 2003 г. (*Roco and Bainbridge*) стали путем к новым рубежам, но впереди – еще более значимые задачи, которые предстоит решать в следующее десятилетие.

В последние годы было проведено несколько конференции по конвергентным технологиям. Большинство участников согласилось с тем, что социальные перспективы *NBIC2* весьма многообещающие. Но вполне возможно, что на этом пути человечество встретится с серьезными опасностями, однако представляется, что дальнейшее цивилизационное развитие иным путем, кроме как конвергентным, невозможно. Ниже мы обсуждаем возможные перспективы, а также возникающие на этом пути проблемы, вопросы и социально-экономические риски и и опасения.

Начнем с обзора 20 ключевых идей, сформулированных в далеком 2001 г., а далее проанализируем еще порядка 80 актуальных идей, диапазон которых определен в современных *NBIC*-исследованиях. Некоторые представляют собой определенные предсказания, другие – потенциальные проблемы, которые могут возникнуть.

Цель данного краткого приложения – не тщательно проанализировать каждую из идей, но сформулировать их для рассмотрения читателем.

В 2005 г. 26 участников совещаний по *NBIC*, составили вопросник с просьбой предсказать тот год, в котором каждое из 20 предложений могло бы быть «достигнуто», и насколько положительным или полезным было бы оно по шкале от 0 до 10.

Средняя предсказанная дата достижения каждого применения была бы обоснованным показателем для оценки времени, которое потребовалось бы для исследования и развития экспертного мнения в отношении *NBIC*-конвергенции.

В большинстве случаев речь идет о текущем столетии. 26 респондентов в опросе 2005 года в среднем предсказали, что три из 20 предложений в существенной степени были бы достигнуты в течение ближайшей десятилетия, т.е. к 2015 году:

1. В любой точке мира каждый человек будет иметь мгновенный доступ к необходимой информации, практической или научной по своему характеру, причем в форме, приспособленной к наиболее эффективному использованию этим конкретным лицом.

2. Новые организационные структуры и принципы управления, основанные на быстрой, надежной передаче информации, чрезвычайно повысят эффективность администрирования в бизнесе, образовании и управлении.

3. Удобные датчики и компьютеры расширят осведомленность каждого лица о своем здоровье, окружении, химических загрязнителях, потенциальных опасностях и информации об интересном – местном бизнесе, природных ресурсах и т.д.

Действительно, исходя из состояния дел в 2013 г. можно констатировать, что технологически все готово для реализации для каждого из этих прогнозов на 2015 год, а оставшиеся нерешенными вопросы находятся в стадии реализации.

Первый прогноз предполагает наиболее эффективное использование индивидуумом персонализированных информационных ресурсов. Для очень широкого диапазона текущих информационных нужд желаемые ресурсы могут быть доступны из любого места, в котором есть доступ к Интернету.

Поискковые информационные системы могут быть персонализированными, но также легко для индивидуализировать доступ ко многим специальным цифровым библиотекам и архивам.

Не многие люди реально обладают мастерством получать максимальные выгоды из этих возможностей, и возможно будет период, в котором умелое меньшинство временно получит огромное преимущество перед другими людьми. Например, ученые, способные проводить иссле-

<sup>10</sup> Сокращение *NBIC* относится к сближению нанотехнологии, биотехнологии, информационной технологии и когнитивистики. Сокращение *CKTS* относится к ключевой концепции в данной работе – сближению знаний и технологий за счет (и с пользой для) науки. Серия семинаров 2011-2012 гг. и анализ 2013 г. вновь рассматривает вопросы взаимопересечения. Настоящее исследование было посвящено *NBIC2* (означающей «выходящее за пределами *NBIC-конвергенции*»), но поскольку оно сосредоточено на обсуждении и рекомендациях в отношении того, как взаимопересечение может учитывать социальные перспективы – также принимают сокращение *CKTS* (Convergence of knowledge and technology for the benefit of society - конвергенции знаний, технологий и общества).

дования лучше и быстрее, чем их коллеги, чье мастерство в информационной технологии более низкое.

Однако с течением времени все большие группы населения будут обучаться соответствующему мастерству, кроме того, качество интерфейсов продолжает улучшаться, так что первый прогноз с каждым последующим годом будет распространяться на все большее количество людей.

Что касается второго прогноза, то много новых организационных структур, особенно те, которые получили название «виртуальных организаций», применяют информационные технологии для преодоления географических расстояний, развившихся на основе большого числа соответствующих технологий.

Многие из них перекладывают ответственность с одного вида управленческой деятельности на другую, и, таким образом, они могут также происходить перераспределении отношений между группами внутри одной организации, а также и между организациями. Таким образом, может оказываться и социальное сопротивление организационным изменениям, и тому, как эти изменения реализуются. В данной области существует обширное поле для исследований, проводимых социально-гуманитарными науками, и *NBIC-конвергенция* оказывается тесно связанной с когнитивными технологиями.

Очень большое количество людей в настоящее время пользуется компьютеро-подобными смартфонами или другими мобильными устройствами, которые эквивалентны компьютерам, и вместе с ними были разработаны многие виды датчиков для контроля за состоянием здоровья отдельного лица или окружающей среды.

Реализация многих специальных приложений, относящихся к третьему прогнозу, несколько замедлилась – возможно, из соображений стоимости, из-за компромисса в отношении индивидуальных денежных инвестиций в период экономических проблем и стоимости усилий на обучение пользованию новыми устройствами.

Каждый из этих трех прогнозов подчеркивает также важность конкретных условий. Во-первых, удовлетворение индивидуальных нужд требует от людей четко выразить, в чем они нуждаются, и обучиться мастерству, которое максимально увеличит их способность пользоваться ресурсами.

Во-вторых, организационные условия могут это замедлить, ускорить или непосредственно изменить прогрессивное применение технологий, поскольку группы и другие социальные силы конкурируют и сотрудничают в принятии решений в отношении реализации новых технологий.

В-третьих, всякая инновация имеет стоимость, и в мире, богатом инновациями, экономические рынки могут играть решающую роль в определении того, какие приложения успешны.

Исследования, проведенные в 2005 году, предположили сроки реализации 8 из 20 прогнозов в течение ближайших 15, т.е. до 2020 года.

4. Люди вне зависимости от происхождения, социального статуса и способностей будут получать новые знания и осваивать мастерство более надежно и быстро – в школе, на работе или дома.

5. Отдельные лица и группы будут способны успешно связываться и сотрудничать, преодолевая барьеры культур, языка, дистанций и профессиональной специализации, благодаря чему значительно увеличивается эффективность различных групп, организаций и мультинациональных партнерств.

6. Национальная безопасность будет значительно укреплена благодаря информационно обогащенным военным системам, мощным автоматическим боевым машинам, адаптируемым «умным» материалам, неуязвимым сетям данных, превосходным системам сбора разведывательной информации и эффективным мерам против биологических, химических, радиационных и ядерных нападений.

7. Инженеры, художники, архитекторы и дизайнеры будут обладать чрезвычайно расширенными креативными способностями – благодаря разнообразным новыми инструментам и улучшенному пониманию источников человеческой креативности.

8. Средние граждане, как и творцы политики, будут иметь значительно расширенные знания когнитивных, социальных и биологических сил, действующих в их жизни и позволяющих им действовать со значительно улучшенными возможностями и креативностью при принятии повседневных решений.

9. Фабрики будущего будут организованы в контексте конвергентных технологий и повышенных возможностей интерфейса «человек-машина» как результат интеллектуального окружения, которое получит максимальные выгоды и от массового производства, и от заказных проектов.

10. Сельское хозяйство и пищевая промышленность значительно повысят производительность и снизят потери благодаря сетям дешевых «умных» датчиков, которые будут постоянно контролировать условия и потребности растений, животных и сельскохозяйственных продуктов.

11. Работа ученых будет модернизирована благодаря использованию инновационных подходов, впервые использованных в других науках – например, генетических исследований, использующих принципы из области обработки естественного языка, и культурных исследований, применяющих принципы генетики.

Аспекты всех этих восьми предложений были отчасти достигнуты и вновь доказали важность факторы, определяющие их реализацию. Некоторые выражают оптимизм в отношении того, что человеческие существа будут обладать лучшим пониманием и, тем самым, будут более эффективны в достижении своих персональных и профессиональных целей.

Такое положение контрастирует со значительным социальным пессимизмом, который начался с расширением финансовых кризисов через 2-3 года после того, как был выдан прогноз.

Растущую неудовлетворенность своими правительствами остро испытали граждане Европы, Японии, Соединенных Штатов и других технологически передовых наций. В данном исследовании предполагается, что эти прогнозы должны трансформироваться в направлении возврата на путь прогресса.

Прогноз относительно национальной безопасности был несколько противоречивым, о чем говорит тот факт, что он получил самый низкий бал из всех 20 прогнозов – 5,5 по шкале от 0 до 10. Большинство прогнозов получили балы в диапазоне 7-9. Конечно, это позволяет предположить, что люди (и ученые, и инженеры) различаются в своих предпочтениях и в своих политических взглядах. Не было ни одного прогноз, что «Военная технология не будет необходима, поскольку человечество найдет надежный путь к миру».

Тем не менее, респонденты отличались в отношении того, считают ли они некоторые из технологий усиливающими безопасность или в конечном итоге таящими в себе социально-экономические опасности и риски.

Следующие три прогноза, относящиеся к 2025 года, пока еще не близки к достижению:

12. Роботы и программные продукты будут более полезны для человека, поскольку они будут действовать по принципам, совместимым с человеческими целями, знаниями и личностью.

13. Человеческое тело будет более долговечным и здоровым, более энергичным, более простым для «ремонта» и более устойчивым ко многим видам стресса, биологических угроз и процессов старения.

14. Комбинация технологий и лекарственных средств будет компенсировать многие физические и умственные недостатки и совершенно искоренит некоторые недостатки, которые мешали жизни миллионов людей.

Возможно, они совместно определяют важный вопрос в отношении прогресса, относящегося к технологической конвергенции, а именно: «В какой степени прогресс будет достигнут благодаря улучшению человека по сравнению с улучшением окружающих человека машин?»

Можно отклонить этот аргумент или попытаться пойти на компромисс, говоря о сотрудничестве человек-машина (как это делает «Национальная инициатива по роботам», когда ссылается на «ко-роботов», созданных для совместной работы с человеком). Возможно, различные ответы окажутся наилучшими для каждого из применений. Но этот вопрос имеет глубокий политический, этический и социальный смысл.

Дополнительные пять прогнозов были помечены для достижения в год 2030-й, и они, возможно, охватят пять очень разных зон достижений, а не будут объединены одним или двумя общими принципами:

15. Быстрые широкополосные интерфейсы между человеческим мозгом и машинами преобразуют работу на заводах, управление автомобилями, обеспечат военное превосходство и создадут новые виды спорта, искусства и режимы взаимодействия между людьми.

16. Машины и конструкции любого вида – от домов до самолетов – будут строиться из материалов, которые будут обладать желаемыми свойствами, включая возможность адаптации к изменяющимся ситуациям, высокой энергетической эффективности и дружелюбности к окружающей среде.

17. Способность контролировать генетику человека, животного и сельскохозяйственных растений обеспечит благосостояние человека; широкий консенсус этических, правовых и моральных проблем послужит основой этого процесса.

18. Транспорт будет безопасным, дешевым быстрым благодаря повсеместным информационным систем реального времени, чрезвычайно высокоэффективным конструкциям транспортных средств и использованию синтетических материалов и машин, изготовленных с использованием наномасштаба для обеспечения оптимальных характеристик.

19. Официальное образование будет преобразовано благодаря унифицированным, но разнообразным учебным планам, основанным на всеохватывающей иерархической интеллектуальной системе взглядов и понятий для понимания устройства физического мира от наномасштаба до космических масштабов.

Конечный прогноз, выданный на 2050 год, касается того, что обычно называется «конечный рубеж», а именно – практической цели для программы исследования космоса:

20. Огромное пространство дальнего космоса будет окончательно освоено с помощью эффективных космических кораблей, конструкций-роботов на внеземных базах и прибыльной разработки ресурсов Луны, Марса или находящихся вблизи Земли астероидов.

Имеется большое поле для дебатов по поводу того, что может дать дальний космос, хотя эта позиция предполагает определенное видение этого трудного вопроса. Упоминание разработки месторождений на соседних с Землей астероидах обычно предполагает новый источник редких минеральных ресурсов для наземной промышленности. При обсуждении разработки марсианских ресурсов могла бы иметься совершенно другая цель – колонизация самого Марса. Конструкции-роботы на внеземных базах могли бы стать эффективным способом подготовки к подходящим для людей условиям без начальных затрат на создание жизнеспособной экологии и экономики до того момента, когда можно было бы разрабатывать многие внеземные ресурсы. И потребовались бы эффективные межпланетные корабли для организации любой значительной экспансии физической человеческой деятельности в солнечной системе.

Исходя из того, что нанотехнологии были исторически начальной точкой *NBIC*-конвергенции, необходимо поднять серьезный вопрос о разработке внеземных ресурсов для пользы земной жизни. На самой Земле имеются все химические элементы, необходимые для полного диапазона технологий, а также могут быть изобретены разнообразные новые средства для концентрирования редких элементов – от разработки месторождений с помощью роботов до очистки отходов нашей цивилизации. Нанонаука подчеркивает важность того, как вещество структурировано по наномасштабу, тем самым снижая потребности в больших количествах редких элементов. В отношении *NBIC*-конвергенции необходимо иметь в виду, что некоторые наиболее ценные материалы создаются с помощью геологических или биологических процессов, присущих нашей собственной планете.

Таким образом, можно заключить, что если целью является увеличение мощи индустриального общества, то именно *NBIC*-конвергенция – это путь достижения, причем без эксплуатации удаленных объектов солнечной системы.

Если же цель – это расширить понимание человеком космоса, то, действительно, деятельность в космическом пространстве будет важна, но, возможно, в форме зондирования дальнего космоса, высадки роботов и исследования Европы или Титана и вывода на орбиту телескопов, сканирующих вселенную во всем электромагнитном спектре.

Если цель – расширить цивилизацию, то колонизация Марса может быть существенным шагом вперед, но важно также и расширение социальных и когнитивных технологий в области многообразия культур.

Перенеся перспективы освоения космоса в отдаленное будущее, сторонники *NBIC*-конвергенции признают, насколько трудно будет это делать. Но при этом имеется в виду, возможно, и более важна истина: чем больше мы продвигаемся в будущее, тем больше вероятность того, что нам придется увидеть многие вещи в совершенно ином свете.

## §2.9. Прогнозы с 2015 по 2030 гг.

Медианные прогнозируемые даты для всех 50 приложений были в пределах данного столетия, хотя мы можем ожидать большой неопределенности в отношении тех, которые респонденты поместили достаточно далеко в будущее. Четвертая часть этой группы, по мнению респондентов, достижима в конце 2030-х годов:

1. Свежий научный подход к культуре, основанный на концепциях, взятых из эволюционной биологии, и методах классификации из информационной науки, значительно упростит получение школьного гуманитарного образования, маркетинг произведений музыки или литературы и художественных инноваций.

2. Трехмерные принтеры будут широко использоваться не только для быстрого макетирования, но также и для экономичного локального, по запросу, изготовления объектов искусства, деталей машин и множество других вещей из самых разнообразных материалов.

3. Станет технически и экономически возможным устанавливать последовательность генетического кода каждой отдельной личности, так что мы полностью поймем генетические вариации в характеристиках человека.

4. Нанодатчики, имплантированные в человеческое тело, будут контролировать метаболизм и здоровье, диагностируя любые проблемы со здоровьем еще до того, как человек заметит первые симптомы.

5. Компенсирующие технологии обеспечат преодоление таких недостатков, как слепота, глухота и неподвижность.

Фактически, первые три из перечисленных выше прогнозов сейчас видятся достижимыми гораздо скорее, чем это предсказывали респонденты в 2005 году.

Предсказания относительно имплантированных датчиков и компенсирующие технологии были облечены в несколько экстравагантные термины, но прогресс в этом направлении виден уже сегодня.

Следующие пять прогнозов были ориентированы на 2040 год:

6. «Умные» машины будут адаптироваться к стилю общения, социальному контексту и личным нуждам тех людей, которые будут использовать их.

7. Комбинация методов значительно снизит ограничения, связанные со свойственной человеку способностью усваивать информацию.

8. Наука достигнет большого прогресса в понимании и предсказании поведения сложных систем в разнообразных масштабах и между системой и окружением.

9. Появится новая форма компьютерной обработки данных, в которой не будет различий между аппаратным и программным обеспечением, поведение сложных адаптивных систем будут вычислять биологические процессы.

10. Наномасштабные молекулярные двигатели будут производиться в массовом масштабе для выполнения самых различных задачи в самых разных областях – от изготовления материалов до консервативного лечения.

Приведенное выше предположение номер 6, которое исследователи ориентированной на человека «дружественной» компьютерной обработки данных называют «персонализацией» и «контекстными системами», невозможно привязать к определенному году.

Все следующие четыре достижения, как кажется, потребуют научно-технического прорыва, понятного и, возможно, даже могущего быть описанным в деталях, но не достижимого в ближайшем будущем.

Следующие семь прогнозов имеют сходное качество, и они были помещены между 2045 и 2050 годами:

11. Военные будут способны управлять автомобилями, оружием и другими боевыми системами мгновенно – только в процессе обдумывания команд или даже перед полным их осмыслением в своем мозгу.

12. Новые исследовательские инструменты будут отображать структуру и функции человеческого ума, включая полное отображение соединений человеческого мозга.

13. Молекулярные машины будут решать широкий диапазон проблем в глобальном масштабе.

14. Расширение памяти улучшит познавательную способность человека с помощью таких средств, как внешние электронные хранилища данных и введение в мозг факторов роста нервов.

15. Наука прогнозирования поведения обществ позволит нам понять широкий диапазон социально разрушительных событий и применять смягчающие или превентивные стратегии до того, как те смогут нанести вред.

16. Будет разработан нанобиопроектор, который позволит дешево изготавливать самые различные медикаменты, которые будут приспособлены к генетической структуре и потребностям в медицинской помощи отдельной личности.

17. Нанороботы будут выполнять хирургические операции и вводить лекарственные препараты глубоко внутрь человеческого тела, обеспечивая значительные выгоды для здоровья с минимальным риском для него.

Эти последние семь предположений, как кажется, содержат более серьезные сомнения в отношении реализуемости и вызывают ощущение, что для достижения этих семи целей придется выполнить большую работу. Заявления о «науке прогнозирования поведения обществ» вызывает сомнение, поскольку выделение «Конвергенции технологий» социальных воздействий требует данных от самой социальной науки. Если мы не сможем предсказать поведение обществ, то не сможем и ожидать последствий второго порядка технологических инноваций.

Способность прогнозировать и понимать изменчивое социальное поведение создает основу для рассмотрения двух прогнозов, в отношении которых ожидается, что они будут реализованы для следующего поколения – до 2070 года:

18. Ученые будут способны понять и описать намерения человека, убеждения, желания, чувства и мотивы в терминах хорошо определенных компьютерных процессов.

19. Вместо формирования стереотипа некоторых людей как нежелательных или прославления других как талантливых, общество предоставит каждому право решать за себя, какие способности он хотел бы иметь.

Взятые вместе, эти два прогноза связаны с угрозой социального контроля по сравнению со свободой. Если ученые действительно понимали бы своего собрата – человеческое существо, они могли бы иметь больше власти над ним. Но наша задача – не принуждать людей оправдывать наши надежды в их отношении, а давать им средства достижения их собственных целей, даже если часто эти цели могут быть весьма скромными.

Конечный прогноз в этом комплексе с датой медианного выполнения, приходящейся на 2085 год, – далеко не технический и не этический:

20. Будут иметься вычислительные мощности и научные знания для построения машин, которые будут функционально эквивалентны человеческому мозгу.

Если эти возможности осуществляются, то как мы должны будем ими пользоваться? Бесчисленные авторы научной фантастики воображают возможные последствия такого развития, но их цель – обеспечить интересное сосредоточение на конфликте как мотивации в отношении истории, а не разработка серьезных конструктивных принципов для технологий, которые обогатили бы человеческую жизнь.

Более тонкий вопрос касается того, означает ли «функциональная эквивалентность» то, что машины будут действовать на тех же принципах, что и человеческий мозг, а не использовать другие принципы для моделирования человеческого мозга. В любом случае, создание таких машин потребовало бы более глубокого понимания природы интеллекта, чем то, которое у нас есть в настоящее время, и, таким образом, могли бы быть значительные последствия для нашего восприятия нас самих, даже если бы такие машины никогда не покинули стены исследовательских лабораторий.

*Идеи, вопросы и компромиссные решения, предложенные в исследовании CKTS 2013 г.*

Рассмотрим 40 идей относительно будущего, являющиеся в большей степени проблемами, чем прогнозами. Они не обсуждаются здесь в контексте того, когда каждая из них могла бы осуществиться, но предлагаются читателю как проблемы для того, чтобы поразмышлять над ними и оценить их на основе собственного профессионального опыта и его персональных ценностей.



Первый набор из 20 идей представлен в виде вопросов, на которые, возможно, будет получен ответ в результате будущих исследований, или дилемм, подлежащих разрешению с помощью логического анализа.

1. Может ли переход к основанной на знаниях экономики обеспечить новые пути к подъему социальной мобильности для талантливых личностей без того, чтобы полностью лишать многих неквалифицированных людей способности работать?

2. Будет ли широкое использование информационной технологии объединять социальные группы или же все дальше отталкивать их друг от друга?

3. Может ли «Национальная инициатива по роботам» реализовать свой принцип «коробот» в обеспечении успешного сотрудничества между человеком и роботами, тем самым создав пример для подражания для других технических областей? .

4. Будет ли выгодным расширить конвергенцию далеко за пределы *NBIC-конвергенции* – например, перейти через информацию и когнитивистику к социальной науке и за ее пределы, чтобы объединить искусство и человека?.

5. Можно ли достичь экологической устойчивости, например, путем использования энергетических ресурсов без серьезных негативных политических, социальных и экономических последствий?.

6. Будут ли правительства и другие институты в мире сотрудничать в достаточной степени, чтобы установить глобальную систему контроля за экологией и теми компонентами общества, которые воздействуют на нее?.

7. Как быстро будет развиваться наука о конвергенции, особенно если окажется затруднительным открыть всеобъемлющие принципы для понимания изменяющихся традиционных областей терминах новых используемых обща концепций?.

8. Какие системы оценки и руководства сделают возможным найти правильный динамический баланс между конвергенцией и дивергенцией, надлежащим образом объединяющий их в цикл конвергенции-дивергенции?.

9. Окажется ли возможным мобилизовать ученых, профессиональных медиков и широкую публику для преобразования медицины из реактивной в проактивную, предотвращающую заболевания, легко выявляющую заболевания и благодаря этому приводящую к снижению расходов на здравоохранение.

10. Будут ли правительства, страховые компании и системы здравоохранения искать пути существенного смягчения демографических проблем, связанных со старением населения, в условиях экстремального и, возможно, растущего экономического неравенства?.

11. Какие принципы проектирования и изготовления сделают возможным для роботов обслуживание различных слоев населения – начиная с раннего образования детей до оказания пожилым лицам помощи в быту?.

12. Каким образом человеческая культура навсегда изменится, если был бы разработан унифицированный основанный на теории комплект правил для понимания познавательной способности человека?.

13. Какой организационный принцип (такой, как франшизы или гильдии) докажет свою эффективность в создании распределенных производственных систем, которые одновременно максимально повысят эффективность и местную автономия?.

14. Имеется ли какой-либо способ возродить научно-технические исследования, которых требует надлежащая реализация технологических инноваций, при условии, что социальные ученые сейчас в значительной степени отказались от проведения исследований внутри научных лабораторий, промышленных корпораций и правительственных учреждений?.

15. В условиях наличия многих различных видов инфраструктуры, требуемой для исследовательских, образовательных проектов и проектов для демонстрации изготовления будет ли возможным задать им приоритеты таким способом, который вполне доступен и не разбалансирует процесс конвергенции?.

16. Какие методы сбора данных и критерии успеха должны использоваться для оценки программ по реформированию образования в направлениях конвергенции?.

17. Какая комбинация источников энергии и государственной политики могла бы избавить мир от применения ископаемых видов топлива без возврата человечества назад к ситуации с ограниченными ресурсами, пережитой в истории?.

18. В условиях большого количества разочарований в течение многих лет, как могут нации мира сотрудничать в обеспечении эффективной защиты экологии и устойчивости ресурсов?.

19. Какие меры будут стимулировать эффективную спираль креативности и инноваций по сравнению с порочным циклом деградации?.

20. Если пессимистичный аргумент, что мы достигли конца научно-технического прогресса, является правильным, имеется ли какой-либо путь гладкого перехода к устойчивой форме благожелательной цивилизации?.

На первый взгляд, на некоторые из этих 20 вопросов можно было бы ответить «да» или «нет», а на другие – одним предложением. Все же в реальности каждый из них мог бы сегодня стать темой расширенных дебатов, и на него можно было бы ответить конфиденциально только после значительно числа лет опыта в конвергенции. Они подчеркивают эволюцию в технологической системе на основе принципов конвергенции, при наличии вторичных последствий для благосостояния человека, в то время как последние 20 вопросов ясно сосредоточены на дилеммах социального воздействия, которые могут быть вызваны технологической конвергенцией.

Особенность представления следующих 20 вопросов не предполагает, что каждый из них – это неизбежная дилемма, а лишь подчеркивает пути, по которым часто взаимодействуют многочисленные цели. Для того чтобы сказать, что достижение цели *A* предотвратит достижение цели *B*, может быть необходимо найти пути для достижения обеих целей, возможно – через ранее невообразимую синергию, которая устраняет конфликт между *A* и *B*. Некоторые примеры представлены как условные, а не как компромиссы, так что цель *A* может быть достигнута, но только если будет достигнута даже более трудная цель *B*.

Таким образом, фразеология в данном разделе означает стимулирование креативного мышления, а не пессимизма с непониманием того, что многие важные решения оказывают воздействие друг на друга.

1. Прямое моделирование человеческого мозга будет препятствовать многим заболеваниям и недостаткам, но это поднимает важные вопросы относительно специфики технологического контроля индивидуального ума.

2. Широкое использование программ с открытыми исходными кодами значительно увеличит функциональность и адаптируемость информационных систем за счет возможности бесчисленных нарушений защиты и кибер-атак.

3. Управление технологическими инновациями могло бы быть централизованным и авторитарным или децентрализованным и демократичным.

4. Приглашение непрофессионалов в исследовательские группы в делах, которые часто называются «гражданской наукой», обеспечивает продвижение науки благодаря усилиям волонтеров и лучше встраивается ее в более широкую культуру, но с риском стимулирования псевдонауки и политически запятнанной науки.

5. Общие стратегии, основанные на оценке глобального риска, могли бы принести пользу человечеству в целом, хотя и нанося ущерб надеждам людей, живущих в некоторых специфических географических зонах.

6. Оживленные публичные дебаты в отношении полного диапазона экологических и социальных воздействий нанотехнологии могли бы обеспечить, чтобы она приносила максимальные выгоды человечеству или смогла заманить в ловушку популярных ошибочных представлений, основанных на опасениях и невежестве.

7. Удивительно широкий диапазон и количество новых стратегий будет разработано для инвестиций в исследования и разработки и их реализации, но одним из результатов была бы уменьшенная поддержка более старым испытанным стратегиям, которые еще не изжили своей полезности.

8. Создание технических универсальных языков высокого уровня смогло бы упростить сближение, но за счет новой программы образования для молодых ученых и инженеров и устаревание более опытных людей, чье техническое обучение прекращено.

9. Регенеративная медицина и продвинутое протезирование будут среди новых лечебных средств, улучшающих качество жизни продолжающих существовать, хотя меньшее внимание может быть уделено продлению жизни неизлечимых больных.

10. Постоянный мониторинг за состоянием здоровья людей с использованием носимых датчиков и «умных» домов может существенно улучшить благосостояние за счет широкого образования пациентов, разработки большого количества новых и, возможно, дорогих информационных технологий и, возможно, большей уязвимости частной жизни.

11. Сближенные технологии определенно помогут людям, страдающим умственными недугами, и смогут нанести вред людям с отклонениями от нормы, чьи характеристики – это просто вариант, а не объективная патология.

12. Стратегии исследований и разработок, одновременно и сближаемые, и расходящиеся, могут достичь заметного прогресса, но только если значительно возросшее познавательных способностей позволит нам реализовывать стратегии, которые реально совместимы с функциями человеческого разума.

13. С помощью распределенных методов производства возможности перейдут из рук нескольких в руки многих, потенциально снижая выгоды крупных корпораций и их инвесторов.

14. Распределенное производство требует поставок сырьевых материалов в небольших количествах в большое число мест, что повысит расходы, если методы, вдохновленные нанотехнологией, не смогут снизить отходы, а новые транспортные системы смогут повысить эффективность доставки.

15. Интерактивное образование снизить его стоимость и повысит доступность, но за счет дистанцирования студентов от их физического предмета и снижения их возможности стать членами интеллектуального сообщества.

16. Три различные стратегии конкурируют в размещении исследовательских и образовательных центров: в наиболее продвинутых исследовательских университетах, в географических местах, где могут принимать участие несколько институтов более высокой образованности, или в национальных регионах (где наука достаточно слаба), для того чтобы улучшить эти регионы.

17. Фактически, развивающиеся нации имеют право достичь тех же уровней экономического процветания, что и большинство технологически развитых наций, но если это произойдет, экология в мире была бы разрушена загрязнениями и истощенными ресурсами.

18. Более широкое использование ядерной энергии позволило бы уменьшить применение загрязняющих ископаемых топлив и этим снизить глобальное потепление, но с риском распространения ядерного оружия и аварий.

19. Очень важно развивать институциональные возможности для усиления взаимодействия между наукой и обществом, но одним из результатов может быть как устаревание некоторых более старых институтов, так и генерация сопротивления людей, которые привержены более старым традициям.

20. Полупроводниковая промышленность обеспечивает хорошую модель сближения с другими отраслями промышленности, но если полагаться исключительно на стратегии, разработанные в особых условиях, это может задержать разработку хороших альтернативных моделей, которые могли бы возникнуть в самых разных областях человеческой деятельности.

Цель данного списка – не продвигать авторитарное мнение в отношении будущего, а проиллюстрировать весь диапазон проблем, которые необходимо было бы рассмотреть. Реальное сближение потребует преодоления различий между перспективами, представляемыми разными людьми с различным образованием, интересами и целями. Надлежащая реакция на большинство этих проблем – проведение научных исследований и технологических разработок, в типичном случае – по многим направлениям, поднятие многих взаимосвязанных вопросов и стремление объединить ответы, когда они найдены.

### Заключение.

Опыт совещаний по «Конвергентным технологиям» в прошлое десятилетие показывает, что реально вполне стоит собирать не прагматичные, но профессионально обоснованные прогнозы и другие описания будущих возможностей. Они вдохновляют на действия, стимулируют мысль и инициируют дебаты. Таким образом, было бы ценным организовать периодическое исследование ученых и инженеров *CKTS*, идеально – в группе из нескольких сотен имеющих опыт во всех сближаемых областях, возможно – каждый раз в два этапа.

На первом этапе члены группы выдвигали бы идеи, подобные тем, которые перечислены выше, комбинировали их, редактировали и отбирали, чтобы обеспечить максимальное разнообразие и трансформировать их в официальную анкету.

На втором этапе члены группы отвечали бы на вопросы анкеты (как в исследовании 2005 года), классифицируя каждую идею по годам, в которые она могла бы быть реализована, и по значению ее для человечества.

Проводимый через Интернет, этот процесс исследований смог бы быть достаточно недорогим, и полученный в результате набор данных можно было бы проанализировать различными способами для разных публикаций и целей.

Спектр использования естественнонаучных методов весьма многообразен:

- Исследование и анализ археологических и культурных объектов и артефактов является одним из наиболее перспективных направлений современной гуманитарной науки.
- В настоящее время в мире такого рода исследования рассредоточены в нескольких, узко специализирующихся каждый в своей области, традиционных Центрах.
- Создание Центра, который в будущем смог бы сконцентрировать различные направления исследований дало бы мощный кумулятивный эффект для дальнейшей конвергенции естественных и социогуманитарных наук.

В качестве основных **направлений исследований** можно выделить:

- Идентификация подлинности объектов.
- Точная датировка артефактов и материалов.
- Химический (включая радиохимический) анализ артефактов и материалов.
- Визуальная реконструкция утраченных фрагментов артефактов.
- ДНК – анализ органических останков.
- Компьютерная 3D-реконструкция и визуализация археологических объектов и комплексов.
- Обнаружение, анализ и восстановление скрытых изображений.

**Объектами** исследования выступают:

- Письменные документы, содержащие прямые или косвенные указания на временной период.
- Ископаемые стволы деревьев, пригодные для анализа погодичного прироста древесины.
- Ископаемые органические останки, содержащие изотоп углерода  $C^{14}$  (радиоуглеродное датирование археологических объектов).
- Ископаемые органические останки, содержащие генетические материалы для анализа ДНК.
- Ископаемые неорганические останки (металлические орудия труда и оружие, керамика и др.).
- Произведения искусства, живописи, архитектуры, ювелирные украшения.

**Основные естественнонаучные методы исследования в гуманитарных науках.**

Название	Характеристика
<b>ФИЗИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ</b>	
<p><b>Рентгенофлуоресцентный анализ</b></p>	<p>Метод рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) является одним из наиболее востребованных аналитических методов элементного анализа. Независимо от типа пробы, измеряются ли жидкости, порошки или твердые пробы, РФА сочетает высокую точность с простой и быстрой пробоподготовкой. Метод основан на зависимости интенсивности рентгеновской флуоресценции от концентрации элемента в образце. При облучении образца мощным потоком рентгеновского излучения возникает характеристическое флуоресцентное излучение атомов, которое пропорционально их концентрации в образце. Флуоресцентное излучение разлагается в спектр при помощи полупроводниковых детекторов (Si или Ge), где все излучение от пробы регистрируется и переводится в электрические импульсы, формируя спектр в виде зависимости количества импульсов от энергии каждого элемента. Обработка спектра позволяет проводить количественный и качественный (полуколичественный) анализ.</p> <p>Рентгенофлуоресцентные спектрометры позволяют измерять весь элементный диапазон от бериллия (Be) до урана (U) в концентрациях от единиц ppm до 100% и широко используются во многих областях, включая идентификацию и консервацию произведений искусства, археологию и многие другие области применения.</p> <p>Отдельно следует выделить <i>рентгенофлуоресцентный анализ с полным внешним отражением (РФА ПВО)</i>. Метод используется для быстрого количественного и полуколичественного многоэлементного анализа жидкостей, суспензий, твердых проб и загрязняющих веществ и является высокочувствительным аналитическим инструментом для анализа следов элементов благодаря низким пределам обнаружения в ppm- и ppb-диапазоне. Преимущества данного метода очевидны при анализе микроколичеств пробы, жидких проб с высоким содержанием матрицы, а также многократно меняющихся типов проб.</p>
<p><b>Рентгенофазовый анализ</b></p>	<p>Основной задачей рентгенофазового анализа является идентификация различных фаз в смеси кристаллических веществ на основе создаваемой ими дифракционной картины. Наиболее часто применяемый практический метод рентгенофазового анализа - метод порошка (метод Дебая-Шеррера).</p> <p>К достоинствам рентгенофазового анализа должна быть отнесена высокая достоверность метода, а также то, что метод прямой, то есть дает сведения непосредственно о структуре вещества, а анализ проводят без разрушения исследуемого образца. Он является одним из основных в физике и химии твердого тела в силу его простоты и универсальности.</p>
<p><b>Метод рентгеновской спектроскопии поглощения (метод EXAFS- спектроскопии)</b></p>	<p>Метод EXAFS-спектроскопии основан на обработке протяженной тонкой структуры (Extended X-ray Absorption Fine Structure, сокращенно EXAFS), наблюдаемой в рентгеновских спектрах поглощения твердых тел или молекул и позволяет</p>

	<p>получать уникальную информацию об исследуемом материале. С его помощью оказывается возможным исследовать материалы, не обладающие дальним порядком (стекла, жидкости, аморфные вещества).</p> <p>В методе EXAFS необходимо сканирование по энергии, что исключает рентгеновскую трубку как источник рентгеновского излучения. Это возможно с использованием современных синхротронных источников, которые имеют существенно более интенсивные пучки рентгеновского излучения и позволяют реализовывать спектроскопические методы анализа, включая метод EXAFS-спектроскопии.</p>
<b>Рентгеновская компьютерная микротомография</b>	<p>Компьютерная микротомография или микро-КТ - это реконструкция трехмерных моделей рентгеновских изображений. Изображения получаются тем же методом, что и в медицинской КТ, но исследуемые объекты имеют меньший размер, а для получаемых изображений характерно более высокое разрешение. Метод позволяет проводить неинвазивные исследования внутренней структуры объектов. Не требуется ни пробоподготовки, ни окрашивания образцов, ни изготовления тонких срезов.</p> <p>Метод нашел множество применений в геологии, микроэлектронике, нефтяной промышленности, биологии, медицине и других областях науки и техники.</p> <p>Метод вычислительной рентгеновской томографии (ВРТ) позволяет получать трехмерные данные о внутренней структуре образца после математической обработки набора двухмерных проекций, получаемых при вращении образца относительно оси, перпендикулярной падающему излучению. Данные в полученных проекциях представляют собой изменение интенсивности падающего излучения вдоль луча вследствие его ослабления, из-за поглощения и рассеяния на различных частях объекта исследования.</p>
<b>Нейтронная радиография</b>	<p>Нейтронная радиография — метод неразрушающего контроля; применяется в основном для исследования минералов, металлов, сплавов, водородсодержащих веществ и др. с целью выявления в них неоднородностей или примесей и их расположения. Нейтронная радиография позволяет обнаруживать в минералах, горных породах и рудах включения, содержащие элементы, сильно поглощающие нейтроны на фоне породообразующих элементов, которые, как правило, слабо поглощают нейтроны.</p> <p>Физической основой нейтронной радиографии является зависимость излучения от химического состава вещества и прежде всего от его атомного номера и массового числа. В отличие от рентгеновского и у-излучений эта зависимость для нейтронов выражена более сильно. Принципиально важное значение нейтронной радиографии состоит в возможности раздельного контроля химических компонентов материала.</p>
<b>Нейтронно-активационный анализ</b>	<p>Метод нейтронно-активационного анализа относится к основным ядерно-физическим методам обнаружения и определения содержания элементов в различных природных и техногенных материалах окружающей среды и основан на использовании ядерных реакций деления и реакций приводящих</p>

	<p>к образованию радиоактивных изотопов и изомеров. Нейтронно-активационный анализ (НАА) - наиболее чувствительный метод химического анализа многих элементов периодической таблицы. Облучение образцов производится в каналах исследовательского реактора. После облучения и выдержки выполняется измерение спектров рентгеновского и гамма-излучения от образцов. На основании измеренной активности и известных условий облучения определяется химический состав образца.</p>
<p><b>Радиоуглеродный анализ (метод радиоизотопной датировки)</b></p>	<p>Применяется для определения возраста биологических останков, предметов и материалов биологического происхождения путём измерения содержания в материале радиоактивного изотопа <math>^{14}\text{C}</math> по отношению к стабильным изотопам углерода. Для определения возраста из фрагмента исследуемого образца выделяется углерод (путём сжигания предварительно очищенного фрагмента), для выделенного углерода производится измерение радиоактивности, на основании этого определяется соотношение изотопов, которое и показывает возраст образцов.</p> <p>Для определения очень малых содержаний <math>^{14}\text{C}</math> и/или очень малых масс образцов (несколько мг) используется ускорительная масс-спектрометрия, позволяющая прямо определять содержание <math>^{14}\text{C}</math>.</p> <p>Измерение возраста предмета радиоуглеродным методом возможно только тогда, когда соотношение изотопов в образце не было нарушено за время его существования, то есть образец не был загрязнён углеродсодержащими материалами более позднего или более раннего происхождения, радиоактивными веществами и не подвергался действию сильных источников радиации. Определение возраста таких загрязнённых образцов может дать огромные ошибки. За прошедшие с момента разработки метода десятилетия накоплен большой опыт в выявлении загрязнений и в очистке от них образцов. Для датирования из образцов химическими методами выделяют наименее подверженные загрязнению компоненты. При радиоуглеродном анализе растительных остатков используется целлюлоза, а при датировании костей, рогов и других животных остатков выделяется коллаген. Погрешность метода в настоящее время находится в пределах от семидесяти до трёхсот лет.</p>
<p><b>ИК Фурье-спектроскопия</b></p>	<p>Это широко известная и проверенная технология анализа для идентификации неизвестных химических веществ. Метод основан на микроскопическом взаимодействии инфракрасного света с химическим веществом посредством процесса поглощения и в результате дает набор диапазонов, называемый спектром (данный спектр уникален для химического вещества и служит «молекулярным отпечатком»). Помимо того, что Фурье-ИКС – это широко применимый метод, в ней используется анализ присущих свойств химического вещества, благодаря этому Фурье-ИКС очень подходит для сопоставления со спектральной библиотекой. С помощью обширной базы данных подход сопоставления со спектральной библиотекой дает возможность быстро идентифицировать тысячи химических веществ на основании их уникального «молеку-</p>

	<p>лярного отпечатка».</p> <p>По своим возможностям метод почти универсален. ИК Фурье-спектроскопия используется для определения содержания различных органических и неорганических веществ и их соединений в твердых, жидких и газообразных образцах (продуктах питания, почвах, металлах и их сплавах, полимерах и т.д.)</p>
<b>Рамановская спектроскопия</b>	<p>Комбинационное рассеяние света (эффект Рамана) - неупругое рассеяние оптического излучения на молекулах вещества (твёрдого, жидкого или газообразного), сопровождающееся заметным изменением частоты излучения. В отличие от рэлеевского рассеяния, в случае комбинационного рассеяния света в спектре рассеянного излучения появляются спектральные линии, которых нет в спектре первичного (возбуждающего) света. Число и расположение появившихся линий определяет молекулярным строением вещества.</p> <p>Спектроскопия комбинационного рассеяния света (или Рамановская спектроскопия) — эффективный метод химического анализа, изучения состава и строения веществ.</p> <p>По сравнению с другими методами спектроскопии, такими, как ИК-Фурье, комбинационное рассеяние имеет несколько основных преимуществ. Эти преимущества связаны с тем, что эффект Рамана проявляется в рассеянном, а не в поглощенном образце свете. В результате, спектроскопия комбинационного рассеяния практически не требует подготовки образцов и нечувствительна к полосе поглощения воды. Это свойство комбинационного рассеяния света облегчает измерение твердых тел, жидкостей и газов, не только напрямую, но и через прозрачные контейнеры, такие как стекло, кварц и пластик.</p>
<b>Хроматография</b>	<p>Хроматография - это способ разделения веществ, основанный на перемещении дискретной зоны вещества в потоке подвижной фазы вдоль слоя неподвижного сорбента и связанный с многократным повторением сорбционных и десорбционных процессов.</p> <p>С помощью хроматографии возможно:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- разделение сложных смесей органических и неорганических веществ на отдельные компоненты;</li> <li>- разделение и выделение растительных и животных пигментов, изотопов, редкоземельных элементов и других веществ;</li> <li>- очистка веществ от примесей;</li> <li>- концентрирование веществ из сильно разбавленных растворов;</li> <li>- определение молекулярной структуры некоторых соединений путем установления связи между сорбируемостью и строением данного вещества;</li> <li>- качественный и количественный анализ исследуемых веществ.</li> </ul>
<b>Сканирующая электронная микроскопия с рентгеноспектральным микроанализом</b>	<p>Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) позволяет одновременно исследовать размеры и форму зерен, распределение зерен и фаз по размерам, определить состав фазы и распределение химических элементов по ее площади и по площади исследуемого образца, химическую неоднородность по площади шлифа, а также получить изображение объекта в</p>



	<p>широком диапазоне увеличений во вторичных и отраженных электронах. Объектом исследования в СЭМ являются такие образцы, как шлиф, излом, порошки различной дисперсности, пленки, покрытия и т.п.</p> <p>Энергодисперсионный спектрометр, входящий в состав СЭМ, позволяет выполнять количественный рентгеновский микроанализ с выбором анализируемой области: в точке, по площади, по линии (с заданным шагом получения спектров), получать карты распределения элементов по площади и профили вдоль заданной линии.</p> <p>Какова микро и нано структура материала?</p> <p>Каково содержание химических элементов в анализируемом образце?</p> <p>Какое значение коэффициентов диффузии контактирующих материалов?</p> <p>Каков концентрационный градиент химических элементов диффундирующих материалов?</p> <p>Каково распределение структурных элементов по размерам?</p> <p>На эти или подобные вопросы ответы могут быть найдены с помощью сканирующей электронной микроскопии с рентгено-спектральным микроанализом.</p>
<p><b>Магнитно-резонансная томография (МРТ)/ Функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ)</b></p>	<p>Метод МРТ связан с использованием физического явления ядерного магнитного резонанса и основан на измерении электромагнитного отклика ядер атомов водорода на возбуждение их определённой комбинацией электромагнитных волн в постоянном магнитном поле высокой напряжённости.</p> <p>МРТ позволила увидеть без оперативного вмешательства, как выглядит живой человек внутри и какие процессы происходят в его организме. Развитие МРТ изменило современную медицину, но не только ее. Постепенно совершенствуясь, методы МРТ привели в начале 90-х годов прошлого века к созданию функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ), основанной на оценке интенсивности метаболизма кислорода в различных анатомических регионах. Несмотря на относительно низкую временную разрешающую способность этого метода, он до известной степени позволил наблюдать физиологические процессы в организме, исследовать их интенсивность и обогащенность кислородом.</p> <p>Наряду с развитием нейрофизиологии это, в частности, дало возможность детально изучить реакции мозга на внешние раздражители. Оказалось, что мозг реагирует вполне функционально: та зона мозга, которая интенсивно работает в данный момент, получает более активное кровоснабжение. Поэтому с начала 90-х годов психология, в известном смысле, перестала быть исключительно гуманитарной наукой. Получив мощный исследовательский инструментарий, психологи стали проводить эксперименты нового типа, ориентированные на объективные (не зависящие от исследователя) результаты. Это привело к бурному развитию экспериментальной психологии и всего комплекса когнитивных исследований, прежде всего, комплекса когнитивных нейронаук. Особенно значительную роль в этом развитии до сих пор имеет использование метода фМРТ. Другой важной разновидностью МРТ стал метод диффузной тензорной визуализации (ДТИ), или</p>

	<p>трактологии, позволяющий определить анатомические связи отдельных участков мозга между собой. В самое последнее время предпринимаются успешные попытки разработки функциональной версии этого метода (фДТИ).</p>
<p><b>Электроэнцефалография (ЭЭГ) / Магнитоэнцефалография (МЭГ)</b></p>	<p>Один из первых методов функциональной нейровизуализации, позволивший неинвазивно, т.е. не нарушая целостность организма, отслеживать состояния мозга во время сна и различных форм психической деятельности человека. ЭЭГ регистрирует суммарную электрическую активность значительных групп нейронов в коре головного мозга с помощью электродов, накладываемых на поверхность кожи головы. В современных системах ЭЭГ число таких электродов может достигать нескольких сотен. Даже при высокой плотности электродов пространственное разрешение этого метода остается низким, значительно уступающим методу фМРТ. Главным достоинством ЭЭГ является ее высокая временная разрешающая способность. В нейрокогнитивных исследованиях поэтому часто используется параллельная регистрация ЭЭГ и фМРТ. Первый из этих методов отражает временную динамику изучаемых процессов, а второй обеспечивает их точную пространственную локализацию.</p> <p>Электроэнцефалография дает возможность качественного и количественного анализа функционального состояния головного мозга и его реакций при действии раздражителей. Запись ЭЭГ широко применяется в диагностической и лечебной работе (особенно часто при эпилепсии), в анестезиологии, а также при изучении деятельности мозга, связанной с реализацией таких когнитивных функций, как восприятие, память, мышление, речь, адаптация и т. д. На электроэнцефалограммах заметна ритмичность электрической активности мозга. Различают целый ряд ритмов, называемых буквами греческого алфавита. Ритмы ЭЭГ различаются частотой, общей мозговой локализацией и условиями возникновения. Так, например, <math>\alpha</math>-ритм (с колебаниями частотой примерно 10 Гц) регистрируется в задних отделах коры бодрствующего человека при закрытых глазах.</p> <p>Электрические процессы в популяциях нейронов головного мозга сопровождаются магнитными эффектами. На этот источник информации о работе мозга человека впервые обратил внимание академик И.К. Кикоин, построивший для ее регистрации специальное экранированное от внешних помех помещение («немагнитный домик»). Интенсивность этих эффектов чрезвычайно мала (несколько фемтотесла), она в десять тысяч раз меньше естественного магнитного поля Земли. Это предъявляет необычайные требования к методу магнитоэнцефалографии (МЭГ), делая его, особенно по сравнению с ЭЭГ, довольно дорогостоящим и громоздким. Тем не менее, метод нашел широкое применение в научных исследованиях когнитивных процессов и их патологии у человека. Сегодня регистрация магнитоэнцефалограммы осуществляется многоканальными установками, дополняя информацию, получаемую с помощью других средств нейровизуализации.</p>

<p><b>Регистрация движений глаз – Айтрекинг</b></p>	<p>На базе новейших достижений физической оптики и электроники в последние два-три десятилетия создана серия приборов, играющих исключительно важную роль в изучении естественной деятельности человека, его сознательных и бессознательных предпочтений и интересов. Речь идет о методе регистрации движений глаз, или айтрекинге (от англ. eye – глаз, tracking – слежение). Впервые значение данных о движениях глаз для психологии и физиологии человека было продемонстрировано в получивших мировую известность работах советского физика А.Л. Ярбуса (1965). Для регистрации движений глаз он использовал оптико-механическое устройство, крепившееся непосредственно на склере глаза испытуемого («присоска Ярбуса»).</p> <p>Современные айтрекеры располагаются в окружающем человека пространстве и не накладывают существенных ограничений на движения его головы. Обработка данных осуществляется специализированными программными комплексами практически в реальном масштабе времени, что позволяет менять параметры предъявления зрительной информации в процессе ее рассматривания</p> <p>Среди разнообразнейших применений этого метода, наряду с медициной, эргономикой, лингвистикой и экспериментальной психологией, следует отметить и сугубо гуманитарные, например, восстановление и сопоставление субъективного восприятия произведений изобразительного искусства экспертами-искусствоведами и обычными посетителями музеев. Высока роль этого метода в работах по маркетингу и оценке эффективности электронных средств массовой коммуникации.</p>
<p><b>МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИТ-ТЕХНОЛОГИИ</b></p>	
<p><b>3D лазерное сканирование и цифровое моделирование исторических и архитектурных памятников</b></p>	<p>Данный метод позволяет создать цифровую модель всего окружающего пространства, представив его набором точек с пространственными координатами. Основное отличие 3D лазерных сканирующих систем от существующих технологий - большая скорость и высокая точность измерений, что позволяет экономить до 80% рабочего времени и трудозатрат.</p> <p>Метод 3D лазерного сканирования может быть использован для решения широкого круга задач, среди которых:</p> <p>В архитектуре - съемка фасадов зданий с построением 3D-моделей</p> <p>В реставрационных работах - сохранение электронной модели памятника архитектуры с целью дальнейшей реконструкции (реставрации).</p>
<p><b>Методы статистической физики и компьютерного моделирования социальных явлений</b></p>	<p>Целью компьютерного или математического моделирования социальной динамики является изучение общих закономерностей явлений и процессов, протекающих в социальных системах, в частности, механизмы формирования общественного мнения, переход от беспорядка к упорядоченности и формированию социальных связей и структур.</p> <p>Исследование количественных закономерностей изменения (эволюции) коллективных свойств больших групп людей (ди-</p>

	<p>намика рождений и смертей, криминальная статистика, социальные конфликты...) дают богатый материал для использования методов статистической физики равновесных и неравновесных процессов. Однако переход от теоретического рассмотрения изменений общества в терминах статистической физики к практическим попыткам исследований был совершен лишь в последние годы. Этому переходу немало способствовало: (1) развитие новых информационных технологий, связанных, в первую очередь, с Интернетом, (2) многократное увеличение производительности, мощности и информационной емкости вычислительных систем, (3) понимание современной наукой фундаментальной и прикладной значимости проблем социальной физики, а также (4) востребованность таких разработок в реальной жизни (политика, экономика, социология, военное дело).</p>
<p><b>Виртуальная реальность / Расширенная реальность</b></p>	<p>На базе достижений физической оптики, акустики, материаловедения и электроники в 90-ые годы прошлого века была создана новая группа методов и технологий, а сегодня уже и процветающая отрасль промышленности, связанных с созданием компьютерных моделей реальности (англ. virtual reality, VR), передаваемых человеку через его ощущения различных модальностей: зрение, слух, обоняние, осязание и другие. Виртуальная реальность имитирует как сенсорные воздействия на человека, так и моторные реакции человека на эти воздействия. Для создания убедительного комплекса ощущений реальности компьютерный синтез свойств и реакций виртуальной реальности производится в реальном масштабе времени.</p> <p>Объекты виртуальной реальности обычно ведут себя близко к поведению аналогичных объектов материальной реальности. Пользователь может воздействовать на эти объекты в согласии с реальными законами физики (гравитация, свойства воды, столкновение с предметами, отражение и т. п.). Однако часто в познавательных или развлекательных целях пользователям виртуальных миров позволяет больше, чем возможно в реальной жизни (например, летать над любыми участками нашей планеты, создавать любые предметы и видеть сквозь непрозрачные среды, и т. п.)</p> <p>От виртуальной реальности следует отличать расширенную (или дополненную) реальность. Их различие состоит в том, что виртуальная реальность конструирует новый искусственный мир, а дополненная реальность лишь вносит отдельные искусственные элементы в восприятие мира реального. Существует целый спектр таких переходных форм реальности и виртуальности. Важную роль играет также создание виртуальных форм жизни, в частности, антропоморфных агентов (аватаров), с помощью которых исследуются процессы взаимодействия человека с этими новыми, гибридными (естественнонаучными и гуманитарными) технологиями. Спектр применений новых технологий этого типа, в том числе, в сугубо гуманитарных областях, например, музейном деле и образовании, чрезвычайно широк. Речь идет о базовой гибридной технологии следующих десятилетий.</p>

## МОЛЕКУЛЯРНО - БИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

<p><b>Метод ДНК – анализа</b></p>	<p>ДНК-дактилоскопия или генетическая дактилоскопия - метод, используемый для идентификации лиц на основе уникальности последовательностей ДНК индивидуума.</p> <p>ДНК разных людей имеют уникальные последовательности нуклеотидов. Последовательности ДНК конкретного человека составляют его ДНК-профиль или генетический паспорт, который можно использовать для идентификации личности. Составление ДНК-профиля человека (ДНК-профилирование) не следует путать с полной расшифровкой его генома.</p> <p>Сегодня ДНК-дактилоскопию можно проводить везде, даже в портативных лабораториях, и десятки предприятий в мире выпускают оборудование для геномной идентификации личности.</p>
<p><b>Секвенирование генома</b></p>	<p>Высокопроизводительное геномное секвенирование (<i>Next-Generation Sequencing</i> (NGS)) позволяет решать целый ряд таких масштабных задач как ресеквенирование геномов (для организмов с уже известным геномом), секвенирование <i>de novo</i> (расшифровка генома нового вида организма), секвенирование экзона, транскриптома, метилома, анализ однонуклеотидных полиморфизмов (SNP), таргетное секвенирование, анализ малых РНК и др.</p> <p>В течение последних 5 лет (2009-2013гг.) основными коммерческими технологиями для осуществления NGS секвенирования были следующие платформы: 454 Sequencing (Roche), Solexa/Illumina (Illumina) и SOLiD (Applied Biosystems). Каждая технология имеет свои плюсы и минусы, однако, в последние 1-2 года, конкурентная борьба между этими платформами привела к победе Solexa/Illumina как наиболее оптимальной технологии, особенно для решения научных задач.</p> <p>Для осуществления NGS секвенирования для имеющихся образцов ДНК необходимо приготовить геномные библиотеки, которые представляют собой смесь фрагментов ДНК определенной длины. Максимальная длина чтений по технологии Solexa/Illumina составляет 150 п.н., имеется возможность мультиплексирования образцов, что позволяет исследователю разместить до 96 образцов на одной проточной ячейке. При парном чтении по 150 производительность составляет 85-95 млрд. п.н. за 14 дней. Меньшая длина чтения (по 100, 75 или 50) сократит время запуска до 5 дней, а при непарном чтении – до 2 дней. Данная технология отличается высокой производительностью и позволяет реализовывать проекты, как в медико-биологической области, так и в сфере социогуманитарных наук.</p> <p>Так, передовые методы современной молекулярной биологии, в том числе, методы секвенирования генома могут использоваться и для решения многих проблем антропологии и археологии. Современные методы геномного секвенирования использовались для уточнения гипотез о происхождении археологических культур Северного Кавказа. При этом в процессе пробоподготовки образцов из фрагментов костей и зубов за-</p>

	<p>хоронений была выделена древняя ДНК (возраст около 5000 лет) и проведено создание баркодированных ДНК-библиотек. Последующее секвенирование и биоинформатический анализ последовательностей ДНК позволили осуществить сборку митохондриального генома представителя новосвободненской культуры. Полученные результаты согласуются с гипотезой о происхождении новосвободненской культуры от ранних европейских культур Северной и Центральной Европы и выделением ее в качестве самостоятельной археологической культуры.</p>
--	--

### Рекомендуемая литература:

1. Apple, M. (1993) Official knowledge, democratic education in a conservative age. New York: Routledge.
2. Archambault, R., (ed.), 1965, Philosophical Analysis and Education, London: Routledge.
3. Aronowitz, S. and Giroux, H.A. (1991) Postmodern education: Politics, culture and social criticism. Minneapolis: University of Minnesota Press.
4. Bannister D. (1985). Issues and approaches in personal construct theory. London: Academic Press.
5. Bannister D. (Ed.) (1977). New perspectives in personal construct theory. New York: Academic Press.
6. Bannister D., Adams-Weber J. R., Penn W. L., Radley A. R. (1975). Reversing the process of thought-disorder: A serial validation experiment. *British Journal of Social and Clinical Psychology*, 14, 169-180.
7. Bannister D., Fransella F. (1966). A grid test of schizophrenic thought disorder. *British Journal of Social and Clinical Psychology*, 5, 95-102.
8. Bannister D., Salmon P. (1966). Schizophrenic thought disorder: Specific or diffuse? *British Journal of Medical Psychology*, 39, 215-219.
9. Benner D. Hauptstromungen der Erziehungswissenschaft. Munch., 1973;
10. Beyer, L. and Apple, M. (1988) The curriculum: Problems, politics and possibilities. Albany: State University of New York Press.
11. Billig, M. (1987) Arguing and thinking. London: Cambridge University Press.
12. Borner K. et al . Mapping the Structure and Evolution of Science. Knowledge in Service to Health : Leveraging Knowledge for Modern Science Management. [http://grants.nih.gov/grants/km/oerrm/oer\\_km\\_events/borner.pdf](http://grants.nih.gov/grants/km/oerrm/oer_km_events/borner.pdf)
13. Bruner, J. (1996) Culture of education. Cambridge, MA: Harvard University Press.
14. Burbules, N. (1993) Dialogue in teaching: Theory and practice. New York: Teachers College Press.
15. Burbules, N., 1994, "Marxism and Educational Thought", in The International Encyclopedia of Education, (Volume 6), T. Husen and N. Postlethwaite (eds.), Oxford: Pergamon, 2<sup>nd</sup>. Edition, pp. 3617-22.
16. Carr, D., 2003, Making Sense of Education: An Introduction to the Philosophy and Theory of Education and Teaching, London: RoutledgeFalmer.
17. Chambliss, J., 1996, "History of Philosophy of Education", in Philosophy of Education: An Encyclopedia, J. Chambliss (ed.), New York: Garland, pp.461-72.
18. Cleverley, J., and Phillips, D.C., 1986, Visions of Childhood, New York: Teachers College Press.
19. Curren, R., (ed.), 2003, A Companion to the Philosophy of Education, Oxford: Blackwell.
20. Curren, R., (ed.), 2007, Philosophy of Education: An Anthology, Oxford: Blackwell.
21. Dewey, J., 1916, Democracy and Education: An Introduction to the Philosophy of Education, New York: Macmillan.
22. Drexler E.K. Nanosystems. Molecular Machinery, Manufacturing and Computation. N.Y., 1992. John Wiley & Sons Inc.
23. Drexler K. Eric, Peterson Chris, and Pergamit Gayle; «Unbounding the Future: the Nanotechnology Revolution»; 1991; [http://www.foresight.org/UTF/Unbound\\_LBW/index.html](http://www.foresight.org/UTF/Unbound_LBW/index.html)
24. Drexler K. Eric; «Engines of Creation. The Coming Era of Nanotechnology»; Anchor Books; 1986; <http://www.foresight.org/EOC/index.html>
25. Drexler K. Eric; «Nanosystems»; Wiley Interscience; 1992; <http://nano.xerox.com/nanotech/nanosystems.html>
26. Edwards, D. and Mercer, N. (1987) Common knowledge: The development of understanding in the classroom. London: Methuen.
27. Frankel M., Chapman A. Human Inheritable Genetic Modifications: Assessing Scientific, Ethical, Religious, and Policy Issues. AAAS. September. Washington , 2000. <http://www.aaas.org/spp/sfrl/projects/germline/report.pdf>
28. Freire, P. (1972) Pedagogy of the oppressed. New York: Continuum Publishing.

29. Friere, P. (1985) *The politics of education*. South Hadley, MA: Bergin and Garvey.
30. Gergen, K.J. (1994) *Realities and relationships*. Cambridge: Harvard University Press.
31. Gergen, K.J. (1995) *Social construction and the educational process*. In L.P. Steffe and J. Gale (Eds.) *Constructivism in education*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
32. Hardie, C., 1962, *Truth and Fallacy in Educational Theory*, New York: Teachers College Bureau of Publications.
33. Hirst, P., 1965, "Liberal Education and the Nature of Knowledge", in *Philosophical Analysis and Education*, R. Archambault, (ed.), London: Routledge, pp. 113-138.
34. Hirst, P., and Peters, R., 1970, *The Logic of Education*, London: Routledge.
35. Holzman, L. (1997) *Schools for growth: Radical alternatives to current educational models*. New York: Lawrence Erlbaum Associates.
36. Holzman, L. (1999) *Performing psychology: A postmodern culture of the mind*. New York: Routledge.
37. <http://www.transhumanism-russia.ru/content/view/498/116/> - [ednrefl](#) Roco M., Bainbridge W. (eds) . *Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science*. Arlington , 2004.
38. Jackson, P. (1968) *Life in classrooms*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
39. Kaminsky, J., 1996, "Philosophy of Education: Professional Organizations In", in *Philosophy of Education: An Encyclopedia*, J. Chambliss, (ed.), New York: Garland, pp. 475-79.
40. Kelly G. (1955). *The psychology of personal constructs (Vols. 1 and 2)*. New York: Norton.
41. Kelly G. (1958). *Man's construction of his alternatives*. In G. Lindzey (Ed.). *Assessment of human motives* (pp. 33-64). Orlando, FL: Harcourt Brace Jovanovich, Inc.
42. Kelly G. (1961). *A nonparametric method of factor analysis for dealing with theoretical issues*. Unpublished manuscript. Mimeograph, Ohio State University.
43. Kelly G. (1962). *Europe's matrix of decisions*. In M. R. Jones (Ed.). *Nebraska symposium on motivation* (Vol. 10). Lincoln: University of Nebraska Press.
44. Kelly G. (1963). *A theory of personality: The psychology of personal constructs*. New York: Norton.
45. Kelly G. (1969). *Clinical psychology and personality*. In B. Maher (Ed.). *Clinical psychology and personality: The selected papers of George Kelly*. New York: Wiley.
46. Kelly G. (1970). *A brief introduction to personal construct theory*. In D. Bannister (Ed.). *Perspectives in personal construct theory* (pp. 1-29). New York: Academic Press.
47. Larochelle, M., Bednarz, N., and Garrison, J. (1998) *Constructivism and education*. Cambridge: Cambridge University Press.
48. Lucas, C., (ed.), 1969, *What is Philosophy of Education?* London: Macmillan.
49. McLaren, P. (Ed.) (1994) *Post-modernism, post-colonialism, and pedagogy*. Albert Park: Australia: James Nicholas.
50. Murphy, M., (ed.), 2006, *The History and Philosophy of Education: Voices of Educational Pioneers*, New Jersey: Pearson.
51. Noddings, N., 2007, *Philosophy of Education*, Boulder, CO: Westview, 2<sup>nd</sup>. Edition.
52. O'Connor, D., 1957, *An Introduction to Philosophy of Education*, London: Routledge.
53. Osborne, J. (1996) *Beyond constructivism*, *Science Education*, 80 (1), 53-82.
54. Peters, R., (ed.), 1973, *The Philosophy of Education*, Oxford: Oxford University Press.
55. Phillips, D.C. (1997) *Coming to terms with radical social constructivisms*, *Science & Education*, 6 (1-2), 85-104.
56. Phillips, D.C., (ed.), 2000, *Constructivism in Education: Opinions and Second Opinions on Controversial Issues*, (Series: 99<sup>th</sup>. *Yearbook of the National Society for the Study of Education*), Chicago: University of Chicago Press.
57. Phillips, D.C., 1987, *Philosophy, Science, and Social Inquiry*, Oxford: Pergamon.
58. *Philosophers on Education*, eds. by R. S. Brumbaugh, N. M. Lawrence. Lanham, 1986;
59. *Philosophy on Education*. Encyclopedia. N.Y., 1997.
60. Piaget, J. (1954) *The construction of reality in the child*. New York: Basic Books.



61. Roco M., Bainbridge W. (eds). *Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science*. Arlington , 2004.
62. Rorty, A., (ed.), 1998, *Philosophers on Education: New Historical Perspectives*, New York: Routledge.
63. Roth H. *Padagogische Anthropologie*, Bd. 1—2. Hannover, 1971;
64. Rousseau, J.-J., 1955, Emile, B. Foxley, (tr.), London: Dent/Everyman.
65. Salomon, G. (1996) *Distributed cognitions: Psychological and educational considerations*. Cambridge University Press.
66. Scheffler, I., 1960, *The Language of Education*, Illinois: Thomas.
67. Siegel, H., (ed.), 2008, *The Oxford Handbook of Philosophy of Education*, Oxford: Oxford University Press, in press.
68. Siegel, H., 1988, *Educating Reason: rationality, Critical Thinking, and Education*, New York: Routledge.
69. Smeyers, P., 1994, "Philosophy of Education: Western European Perspectives", in *The International Encyclopedia of Education*, (Volume 8), T. Husen and N. Postlethwaite, (eds.), Oxford: Pergamon, 2<sup>nd</sup>. Edition, pp. 4456-61.
70. Smeyers, P., and Marshall, J., (eds.), 1995, *Philosophy and Education: Accepting Wittgenstein's Challenge*, Dordrecht: Kluwer.
71. von Glasersfeld, E. (1979) *Racial constructivism and Piaget's concept of knowledge*. In F.B. Murray (Ed.) *The Impact of the Piagetian theory on education philosophy and psychology*. Baltimore, MD : University Park Press.
72. von Glasersfeld, E. (1988) *The reluctance to change a way of thinking*, *Irish Journal of Psychology*, 9, 83-90.
73. Wells, G. (1999) *Dialogic inquiry: Towards a sociocultural practice and theory of education*. New York: Cambridge University Press.
74. Wood, D.J. (1988) *How children think and learn*. Oxford, Blackwells.
75. Баксанский О.Е. *Когнитивные репрезентации: обыденные, социальные, научные*, М., 2009.
76. Баксанский О.Е. *Физики и математики: анализ основания взаимоотношения*, М., 2009.
77. Баксанский О.Е., Гнатик Е.Н., Кучер Е.Н. *Естествознание: современные когнитивные концепции*, М., 2008.
78. Баксанский О.Е., Гнатик Е.Н., Кучер Е.Н. *Нанотехнологии. Биомедицина. Философия образования. В зеркале междисциплинарного контекста*, М., 2010.
79. Баксанский О.Е., Кучер Е.Н. *Когнитивно-синергетическая парадигма НЛП: от познания к действию*, М., 2005.
80. Баксанский О.Е., Кучер Е.Н. *Когнитивный образ мира: пролегомены к философии образования*, М., 2010.
81. Баксанский О.Е., Кучер Е.Н. *Образ мира: когнитивный подход*, М., 2000.
82. Баксанский О.Е., Кучер Е.Н. *Репрезентирование реальности: когнитивный подход*, М., 2001.
83. Бергер П., Лукман Т. *Социальное конструирование реальности. Трактат по социологии знания / Пер. Е. Руткевича. – М.: Academia Центр, Медиум, 1995.– 323 с.*
84. Витгенштейн Л. *Философские исследования // Витгенштейн Л. Философские работы. Часть 1 / Пер. с нем. М.С.Козловой и Ю.А.Асеева. – М.: Гнозис, 1994. – С. 75–319.*
85. Кобаяси Н. *Введение в нанотехнологию*, М., 2005.
86. Огурцов А.П., Платонов В.В. *Образы образования. Западная философия образования. XX век*. СПб., 2004.
87. Хартманн У. *Очарование нанотехнологии*, М., 2008.

## Оглавление

<b>Предисловие</b>	3
<b>Глава 1. Конвергентные технологии.</b>	8
§1.1. Введение в современные нанотехнологии.	8
§1.2. Чему соответствует единица «нано-».	11
§1.3. История развития нанотехнологии.	13
§1.4. Границы изменения масштабов: планы и стратегия развития нанотехнологии.	16
§1.5. Нанобиотехнология.	19
§1.6. Стандартные методы нанотехнологии.	24
§1.7. Перспективные результаты развития нанотехнологии.	26
§1.8. Социально-экономические последствия развития нанотехнологии.	31
§1.9. Этические аспекты.	32
§1.10. Конвергентные технологии.	37
§1.11. Философские и мировоззренческие проблемы, порождаемые конвергенцией.	NBICS- 40
<b>Глава 2. За пределами конвергентных технологий: социо-гуманитарные технологии.</b>	
§2.1. Естественнонаучные методы в гуманитарных исследованиях.	46
§2.2. Конвергенция: фундаментальный принцип прогрессивного развития.	59
§2.3. Эволюция понятия конвергенции.	61
§2.4. Эволюционный процесс по типу конвергенция-дивергенция.	62
§2.5. Фундаментальные исследования и глобальные задачи.	64
§2.6. Устойчивое социальное развитие.	68
§2.7. Общество знаний.	69
§2.8. Будущее конвергентное общество.	79
§2.9. Прогнозы с 2015 по 2030 гг.	84
<b>Заключение.</b>	89
<b>Основные естественнонаучные методы исследования в гуманитарных науках.</b>	90
<b>Рекомендуемая литература.</b>	100

*Рекомендовано к печати кафедрой «Истории и философии науки»  
ФГБУН Института философии РАН*



Люблю книги  
ljubljudknigi.ru



yes  
**I want more books!**

Покупайте Ваши книги быстро и без посредников он-лайн - в одном из самых быстрорастущих книжных он-лайн магазинов!  
Мы используем экологически безопасную технологию "Печать-на-Заказ".

Покупайте Ваши книги на  
**[www.ljubljudknigi.ru](http://www.ljubljudknigi.ru)**

Buy your books fast and straightforward online - at one of the world's fastest growing online book stores! Environmentally sound due to Print-on-Demand technologies.

Buy your books online at  
**[www.ljubljudknigi.ru](http://www.ljubljudknigi.ru)**

OmniScriptum Marketing DEU GmbH  
Heinrich-Böcking-Str. 6-8  
D - 66121 Saarbrücken  
Telefax: +49 681 93 81 567-9

info@omniscrptum.com  
www.omniscrptum.com

OMNIScriptum



