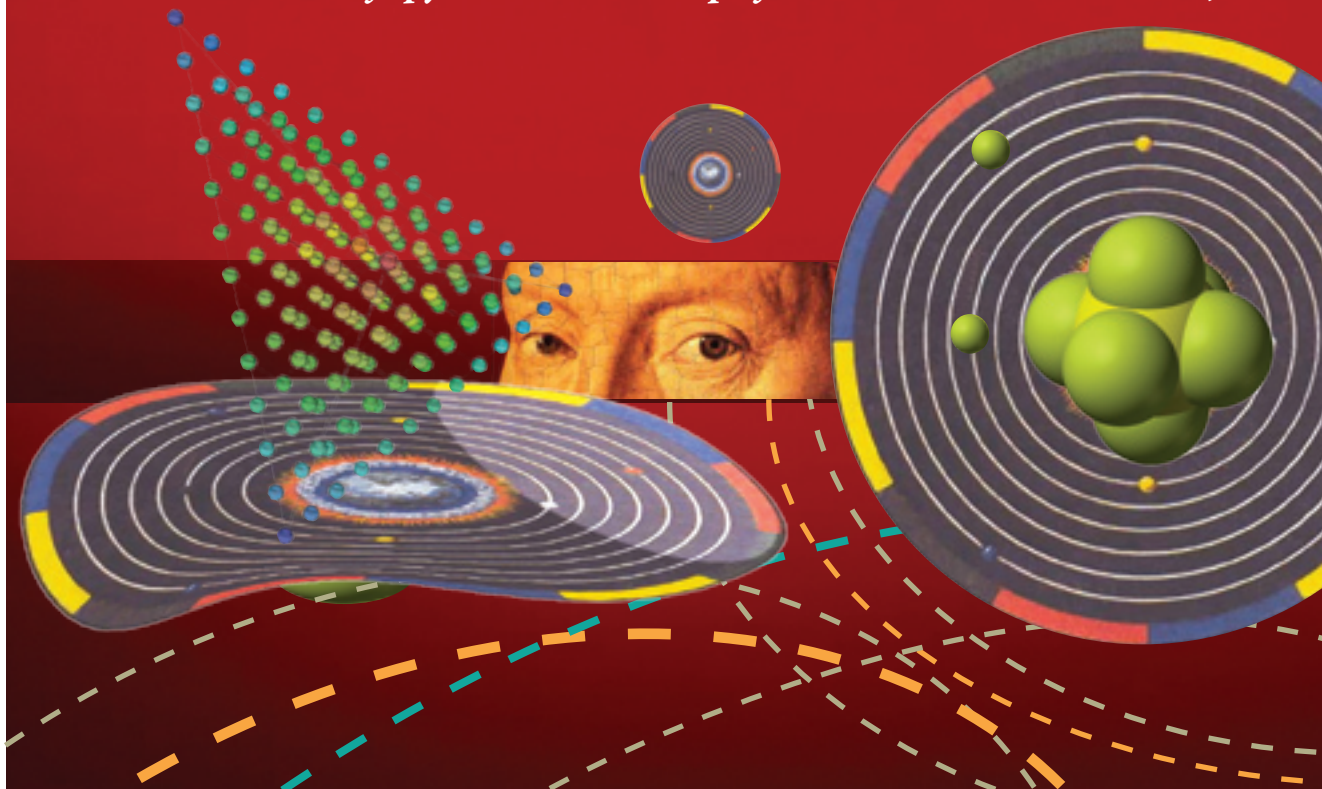


ФОРСАЙТ в области НАНОТЕХНОЛОГИЙ

как исследовать сферу занятости и профессиональные компетенции?



Й. Майлс*

Лицам, ответственным за создание базы компетенций, необходимых для будущего экономического развития, требуется более четкое понимание эффектов, производимых радикальными технологическими изменениями. В долгосрочной перспективе такие изменения могут опровергнуть многие прогнозы, основанные на стандартных приемах моделирования трендов занятости.

В статье рассматриваются некоторые подходы к изучению новых ключевых технологий, оценивается полезность применения определенных методов, известных из практики исследования инноваций, включая анализ диффузии и жизненного цикла отрасли, проработку парадигм и траекторий технологического развития. Особые методологические трудности возникают в сфере нанотехнологий, что обусловлено и степенью ее разработанности, и пересечением в ней разных областей знания, и масштабами и скоростью ее эволюции.

Автор оценивает уровень верификации существующих прогнозов компетенций в nanoиндустрии, а также развития общих приложений нанотехнологий в промышленности и предлагает пути повышения их надежности и более качественного информационного обеспечения политики.

* Майлс Йен — профессор Института инновационных исследований Университета Манчестера (Великобритания). E-mail: Ian.Miles@mbs.ac.uk.

Форсайт и прогнозирование

Хорошо известно, что процесс прогнозирования развития важнейших новых технологий чрезвычайно затруднителен. Можно очертить его основные траектории, но зачастую оценка временных интервалов оказывается ошибочной, и успех тех или иных конкурирующих платформ и стандартов определяется нетехнологическими факторами. Дополнительную сложность представляет оценка влияния технологических сдвигов на компетенции и подготовку специалистов.

Велика вероятность, что «традиционная» модель решения таких задач потерпит крах: сложившимся институтам и практикам придется подвергнуться переменам, природа и содержание профессий и компетенций будут развиваться. Современная практика Форсайта показывает, что не следует фокусироваться на «наиболее вероятном» сценарии [Georghiou et al., 2008]. В случае резких перемен традиционные методы оценки предпочтений оказываются несостоятельными, поэтому необходимо исследовать альтернативные варианты будущего, чтобы обрести возможность максимально контролировать ход развития событий.

В современном Форсайте большое значение придается вовлечению максимально широкого круга заинтересованных сторон и их активному взаимодействию. Это обусловлено распределенным характером знаний о будущем и соответствующих ресурсов. Однако они не являются полностью децентрализованными, особенно в случае их равномерной концентрации в различных сообществах: каждый элемент находится в характерной для него области. Многочисленные категории знаний и ресурсов часто представлены в разных формах, распределены между большим количеством научных дисциплин, профессий и практик, а также экономических агентов (знания, относящиеся к фундаментальным наукам, сферам приложения технологий, этике, регулированию, рынкам, маркетингу и т. д.). Разумеется, способность к действию также рассредоточена между различными носителями и проявляется на неоднородных структурных уровнях: в отраслевых правительственных агентствах, частных компаниях и социальных сетях (источники финансирования, гражданское общество, общественное мнение, СМИ, инструменты регулирования и т. п.). Развитая и эффективная практика Форсайта предполагает обязательный учет этих условий, что выражается в формировании сетей с вовлечением широкого круга сообществ. Традиционные методы, такие как прогнозирование и моделирование, не исключаются, но являются лишь частью более обширного Форсайт-процесса, который требует доступа к сильно рассредоточенным знаниям.

Лишь единичные организации располагают достаточными сведениями о спектре значимых факторов, при взаимодействии которых складываются основные контуры будущих возможностей. Собственный опыт таких организаций зачастую оказывается недостаточным, поэтому для сбора необходимой информации они прибегают к такому общепринятому методу, как созыв экспертной панели. Предлагаемые экспертами рекомендации могут не удовлетворить многих заинтересованных игроков, поскольку они исходят

из «традиционных предположений», сформированных под влиянием установленных рамок и частных интересов. Отсюда вытекают выводы двух типов: с одной стороны, панели должны быть сформированы правильным образом, обеспечивая требуемый уровень легитимности и дееспособности; с другой стороны, следует добиться вовлечения новых участников в процесс сбора информации, формирования видения будущего и оценки возможных последствий предпринимаемых шагов. К подобным методам относятся Дельфи-опросы и сопутствующие исследования, включающие интервью с большим числом респондентов, консультации, рабочие семинары, разработку сценариев и т. п. Однако такие мероприятия направлены скорее на повышение уровня вовлеченности в исследование, а не на распространение результатов.

Как уже подчеркивалось, способность к действию распределена между сообществами. Значимость соответствующей степени их вовлеченности обоснована причинами, которые не ограничиваются соображениями обеспечения Форсайта более качественной информацией и достижения должной легитимности, вытекающей из более широкого охвата перспектив. Благодаря ей участники Форсайт-исследования смогут достичь четкого понимания его механизмов и рассматриваемых вопросов. Это означает, что они должны быть хорошо осведомлены о важнейших аспектах исследуемых проблем, чтобы быть лучше подготовленными для реакции на прогнозируемые события. Также участникам требуется более глубокое осмысление взглядов на будущее и вероятных мнений своих коллег, чтобы найти новые способы потенциального сотрудничества, а иногда и достичь более сильных конкурентных позиций. Кроме того, они могут стать «носителями» идей, сгенерированных в ходе Форсайта, поскольку будут в полной мере информированы о самом исследовании, его логике и фактах, на которых основаны результаты и рекомендации. Для наглядности можно сравнить степень восприятия информации, полученной при участии в групповых дискуссиях и диалогах и при самостоятельном ознакомлении с итоговым докладом.

Основы общепринятой философии Форсайта были сформулированы в 1990-е гг. в процессе выработки подхода к решению проблем научно-технологической и инновационной политики. Многие ранние Форсайт-проекты фокусировались на определении приоритетов исследований и разработок (ИиР) и связанного с этим финансирования; иногда затрагивались и вопросы компетенций и подготовки кадров. Последующие исследования приобрели более широкий охват, что неудивительно для эпохи стремительных и прорывных технологических перемен, когда вопросам науки, технологий и инноваций уделяется повышенное внимание. В последние годы изменения такого рода способствовали расширению областей стратегического анализа, основанного преимущественно на традиционном прогнозировании с включением множества элементов Форсайта. Анализ компетенций, занятости и подготовки кадров не стал исключением: мы наблюдаем тенденции в распространении Форсайта на такие разнообразные сферы, как экология, здравоохранение, уголовное судопроизводство и т. д. Таким образом, крупномасштаб-

ные, полноценные Форсайт-исследования являются мерой первой необходимости в случае, если институты формирования компетенций и подготовки кадров сталкиваются с технологическими изменениями.

Инновационные процессы и траектории

Исследования инноваций

Прежде чем обратиться к анализу компетенций и занятости, целесообразно привести ряд наблюдений, касающихся коренных сдвигов в развитии новых технологий. Исследования показывают, что их диффузия занимает значительный период времени [David; von Tunzelmann, 1978]. Очевидно и то, что успешные инновации требуют «продуктовых чемпионов» — влиятельных игроков, готовых их поддерживать и продвигать даже при неблагоприятных обстоятельствах.

Тем не менее, возможен и «быстрый взлет». В ходе исследований было установлено, что он происходит в тех случаях, когда:

- новые продукты уже появились, их свойства востребованы потребителями;
- эти свойства обладают значительными преимуществами, которые легко продемонстрировать;
- стоимость приобретения новых продуктов относительно невысока;
- новинки сравнительно легки в освоении;
- организационная адаптация (изменения в характере работы, профессиональных обязанностях, бизнес-процессах) не вызывает особых затруднений.

Зачастую поставщики должны прилагать серьезные усилия для достижения условий, при которых возможен резкий подъем после длительного периода отсутствия интереса (за исключением нескольких пионеров в этом отношении). В качестве примера можно привести стремительное освоение микроэлектроники (станки с числовым программным управлением, роботы и т. п. — в обрабатывающей промышленности; текстовые процессоры и персональные компьютеры — в офисной деятельности) в 1980-х гг., Интернета и мобильных телефонов в 1990-х гг. Интересно, но несмотря на то, что появление некоторых из этих новых приложений информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) было предсказано, успех мобильной телефонии и SMS-услуг для многих обозревателей явился большой неожиданностью.

Всемирная Сеть — наглядный пример «парадигмы дизайна», породившей новый рынок, который начал особенно активно расти после появления веб-браузеров и возможности онлайн-поиска. Многие наблюдатели предвидели Интернет-бум, сопряженный с широкой доступностью персональных компьютеров, но необходимость введения общих стандартов и форм существенно недооценивалась до его наступления. Вследствие этого при создании новых онлайн-сервисов значительные усилия были затрачены на разработку единичных и быстро устаревавших интерфейсов. Интернет использовался на протяжении нескольких десятилетий, но для его повсеместного распространения

потребовались усовершенствованные компьютеры и сети, а также легкие в освоении и ориентированные на пользователя сервисы. Это стремительное развитие Всемирной Сети и сферы онлайн-услуг способствовало раздуванию «пузыря доткомов» ("dot com bubble") в конце 1990-х гг.

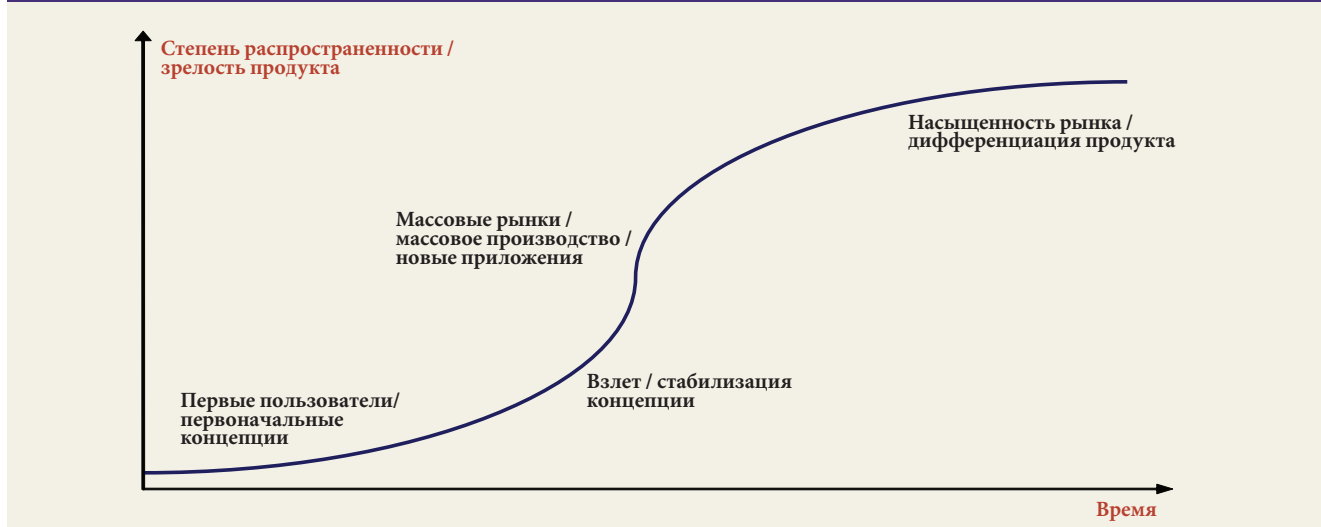
Что же позволяет «парадигме дизайна» оказывать влияние на появление рынков? Во-первых, новая технологическая концепция должна согласовываться с существующими общественными практиками и компетенциями или, по меньшей мере, резко им не противоречить. Именно поэтому факсовые аппараты изначально пользовались большим предпочтением, чем электронная почта — они легко вписывались в традиционный процесс делопроизводства. Электронная почта приобрела популярность только тогда, когда профессионалы стали активнее использовать компьютеры для подготовки документов, построения диаграмм и графиков, анализа данных и оценки достоинства электронной передачи информации. Во-вторых, новая концепция должна обладать существенными преимуществами, но при этом быть практичной и не требовать постоянной технической поддержки. Свой вклад может внести формирование критической массы пользователей, которая обеспечит экономию масштаба (в том числе, в отношении стоимости оборудования и программного обеспечения); возникновение сетевых экстерналий (пользователей, с которыми возможны коммуникации, значительных информационных онлайн-ресурсов); формирование условий для появления конкурирующих поставщиков (а они ведут к снижению затрат) и побочных продуктов, направленных на расширение функциональности. Успешная «парадигма дизайна» способствует созданию подобной критической массы, несмотря на то, что организации-пользователи не всегда готовы финансировать производство нестандартных продуктов.

Обсуждение процесса распространения инноваций, как правило, связано с таким традиционным инструментом логистики, как S-кривая, которая отражает процессы их создания и диффузии (рис. 1). Хотя она и хорошо известна, но все же требует переосмысления с учетом специфики распространения технологий, жизненного цикла продукта или отрасли, что имеет непосредственное отношение к теме нашей статьи.

В анализе процесса диффузии S-кривые часто используются для моделирования освоения инноваций и иллюстрируют несколько аспектов. Многие инновации распространяются по стандартной схеме, согласно которой за периодом постепенного вывода на рынок следует фаза быстрого роста, а он замедляется по мере насыщения потребительского спроса. Однако рост продаж не всегда соответствует увеличению числа пользователей продукта, поскольку некоторые товары могут приобретаться повторно. Например, многие семьи имеют несколько автомобилей и телевизоров, периодически заменяя устаревшие модели новыми.

Метод S-кривых, применяемый в рамках диффузного анализа, фокусируется на изучении характеристик ранних и поздних пользователей. На индивидуальном уровне ранними потребителями, как правило, являются высокообразованные, достаточно состоя-

Рис. 1. Классическая S-кривая



тельные люди, активно использующие СМИ; на корпоративном уровне — это чаще всего крупные компании, расположенные скорее в центральных регионах и связанные с международными фирмами (классический пример приведен в работе [Rogers, 1995]). Поскольку модель распространения новых технологий может быть применена в самых разных сферах, мы можем предположить, что она характерна и для межотраслевой диффузии, причем отдельные сектора также делятся на ранних и поздних пользователей. Так, на отраслевом уровне первыми потребителями обычно становятся высокотехнологичные сектора, а также области, смежные с теми, в которых инновация была разработана или впервые применена.

S-кривые указывают и на критические факторы неопределенности в прогнозировании распространения технологий. Например, если ожидается взлет, то насколько быстрым он будет? Сколько времени пройдет до момента, когда его можно будет считать состоявшимся? Каков будет предельный уровень? Каково потенциальное число пользователей и будет ли оно соответствовать количеству приобретенных продуктов¹? Даже если существует только один способ применения инновации, может ли число реализованных продуктов превышать число потребителей²? Считать ли разновидности одной и той же базовой технологии обособленными инновациями?

Анализируя подобные подходы к прогнозированию разработок, важно отметить некоторые отклонения от общей картины. Хотя S-кривые обычно хорошо соответствуют эмпирическим данным, на практике процесс распространения инноваций нередко прерывается такими событиями, как войны или экономические спады. Конкурирующая технология может заместить существующую новинку еще до того, как последняя приобретена всеми потенциальными потребителями — например, некоторые компании сразу стали использовать электронную почту, пропустив этап работы с факсами.

Кроме того, S-кривые применяются в ином, хотя и тесно связанном с предыдущим, контексте: для изучения жизненного цикла отрасли или продукта. Концепция жизненного цикла отрасли была разработана в ходе дискуссий о международной торговле и сдвигах в глобальном разделении труда. Она стала инструментом оценки структурных изменений в производстве на уровне продуктов и даже отраслей мировой экономики [Vernon, 1966]. Ее основная идея состоит в том, что отрасли со временем «созревают», выпускаемая ими продукция становится более стандартизированной, процессы — типовыми, а технологии производства — дешевыми и упрощенными; сокращается и их зависимость от высококвалифицированной рабочей силы.

Менее же зрелые отрасли должны размещаться в технически передовых регионах, где имеется возможность привлечения компетентных специалистов, получения технической поддержки, а также перспективы наладить контакт с поставщиками инновационного оборудования и составляющих. По мере «созревания» этих отраслей их будет легче размещать в менее развитых государствах: транснациональные корпорации могут переносить производство в оффшорные зоны, а местные фирмы в развивающихся странах превратятся в конкурентов с низкими издержками. Данный подход объясняет процесс вывода ряда зрелых индустрий из развитых стран и доказывает целесообразность их специализации на новых высокотехнологичных направлениях. Однако он порождает много спорных вопросов: насколько подобная концепция применима к единичным продуктам, классам продуктов, фирмам, промышленным секторам; как объяснить присутствие многих сложившихся отраслей в некоторых развитых странах; как относиться к феномену «обновления» и уходу от конвейерной системы фордовского образца? Тем не менее, обозначенный подход позволяет выявить определенную динамику, лежащую в основе успешного продвижения продуктовых инноваций.

¹ При ответе на этот вопрос численность контингента может быть недооценена: например, среди потребителей могут быть не учтены дети; в данных по занятости — работники-иностранцы, по компаниям — неформальный сектор и т. д.

² В некоторых странах количество мобильных телефонов превышает численность населения; неудивительно, что число телефонов, используемых в бизнесе, превышает число компаний, и что случаев применения инструментов общего назначения намного больше числа фирм в потребительских секторах.

Эмпирическое обоснование рассматриваемой концепции менее убедительно, чем для S-кривых в контексте анализа диффузии. Отчасти это связано с тем, что многие отрасли демонстрируют постоянные изменения и инновации, позволяющие сохранить наиболее важные производства в высокотехнологичных странах, где они собственно и зародились. «Обновление» происходит, если технологические и организационные инновации подрывают сравнительные преимущества стран с дешевой рабочей силой. Например, новые технологические процессы могут отодвинуть затраты труда на второй план, потребовав от работников новых компетенций. Кроме того, высокое значение приобретают такие факторы, как близость к целевым рынкам и оперативное реагирование на текущие рыночные изменения; политические или корпоративные стратегии развития некоторых отраслей также могут помешать их миграции. Развивающиеся страны способны самостоятельно инициировать появление новых секторов, а не перенимать уже устоявшиеся технологии — это подтверждает отсутствие достаточных свидетельств перемещения производств в менее развитые государства. Поразительно и то, сколько видов промышленной деятельности было перенесено за рубеж, а многие фирмы вообще перевели сборочные операции и сопутствующие услуги на субконтракты с иностранными партнерами. По мнению многих аналитиков, интенсификация международного разделения труда означает, что производители, появляющиеся на рынке позже, будут ограничены рамками менее наукоемких звеньев цепочки создания стоимости. Им вряд ли удастся обрести потенциал, позволяющий играть самостоятельную роль в отраслях, поскольку имеющийся у них опыт позволит работать лишь в узких сферах глобальных производственных процессов.

Тем не менее, основные принципы модели «жизненного цикла отрасли» сохраняют свою актуальность. Продолжаются, и вероятно будут иметь место и в дальнейшем, сдвиги в размещении производства и глобальном разделении труда. Развитие новых технологий требует рассмотрения вопросов размещения производства в нескольких странах и оценки скорости распространения инноваций в различных регионах. Участники, появившиеся на рынке позднее, могут сыграть значительную роль в процессе промышленного производства, а в некоторых случаях и способствовать появлению новых продуктов. При этом первопроходцы не могут сохранять уверенность, что их продукты будут продолжать доминировать в других регионах мира.

Переходя от концепции «жизненного цикла отрасли» к модели «жизненного цикла продукта», необходимо упомянуть дополнительные факторы, частично связанные с динамикой новых технологий. Эта модель основана на диффузионном анализе, концепции «жизненного цикла отрасли» и результатах комплекса исследований инноваций³. В данном случае акцент следует сделать не столько на характере эволюции рынка или отрасли, сколько на природе самой инновации.

Схематически, концепция «жизненного цикла продукта» предполагает, что первоначальные версии

инноваций, даже будучи очень сложными в технологическом отношении, обычно рудиментарны по сравнению с более поздними версиями. Ранние образцы инновационной продукции адресованы сравнительно ограниченному кругу пользователей не только по причине несформированности рынков, но и из-за дефицита знаний у потребителей о существующих и потенциальных преимуществах продукта, а также нехватки информации у поставщиков о том, какие из них больше ценятся покупателями и как они могут быть использованы. Это подчеркивает признанную многими исследователями важность налаживания коммуникации между производителями и потребителями, обеспечивающей информационную поддержку парадигмы «инновационных систем». Отсюда следует, что на ранней стадии распространения продукта связи между новаторами и многими потенциальными пользователями и даже типами пользователей еще слишком слабы (некоторые виды приложений могут быть твердо устоявшимися, тогда как другие — менее зрелыми либо им еще только предстоит быть созданными). Другими словами, организация цепочек поставок и систем дистрибуции и подготовки персонала находится в зачаточном состоянии. При благоприятном исходе жизненного цикла продукта цепочки будут меняться по мере эволюции этого продукта и процесса его диффузии. На его начальной стадии дополняющие товары и услуги чаще всего отсутствуют или имеются лишь в ограниченном количестве. Основные изделия, как правило, дороги и зачастую ненадежны и/или сложны для освоения по сравнению с более поздними модификациями. Для производства и использования их ранних версий обычно требуются специальные технические навыки, которые на последующих стадиях жизненного цикла становятся стандартными. Компетенции, которые вначале были редкими, могут стать более распространенными по мере осознания потребности в них институтами повышения квалификации и самими работниками.

Однако, если новым товарам все же удастся закрепиться на рынке, это способствует росту их популярности, наращиванию инвестиций в производство, накоплению опыта их использования, расширению рынков сбыта. Таким образом, изделие получает распространение, но главное — трансформируется сама инновация. Совершенствуясь, продукт становится функциональнее, надежнее и проще в эксплуатации, а также эффективнее для производства. К первым поставщикам, изначально демонстрирующим потенциал зародившегося рынка, присоединяются новые участники, способные сгенерировать свежие идеи для инновации. Часто различные предлагаемые модели конкурируют между собой, а когда одна из них становится «концептуальной парадигмой», остальным приходится адаптироваться под нее. Если малые инновационные фирмы обычно осуществляют вывод продукта на рынок, то крупные компании, в свою очередь, способны коренным образом изменить характер конкуренции (возможно, за счет постепенного поглощения малых). Обладая превосходным маркетинговым потенциалом,

³ Подробнее о модели Эбернети-Аттербека см. [Utterback, 1996].

большие фирмы могут ускорить распространение инновации и взять под контроль разработку доминирующей модели продукта. По мере роста рынка фокус обычно смещается от первоначальной базовой версии к усовершенствованному по качеству продукту, после чего происходит обновление технологического процесса, обеспечивающее снижение затрат при масштабном производстве (в этом подобный подход напоминает концепцию жизненного цикла отрасли). Продукт становится дешевле в эксплуатации и функциональнее, ему сопутствует больше дополнительных товаров и услуг, а для его использования требуется все меньше специальных навыков. Потребитель может приобретать его для замены или ремонта предыдущих версий, иногда даже на рынках товаров вторичного использования. Один из подходов к данной теории описывает продуктовый цикл как эволюцию от предложения технологий (technology-push) к рыночному спросу (market-pull), хотя такая оценка может показаться слишком упрощенной.

Аспект концепции продуктового цикла, заслуживающий повышенного внимания, — это двусторонний процесс познания. С одной стороны, успешные инновационные продукты, уже представленные на рынке, видоизменяются благодаря усовершенствованию разработок, которые отнюдь не завершаются опытными образцами, созданными в исследовательских лабораториях. Это объясняется тем, что поставщики получают информацию о реальных потребностях покупателей. С другой стороны, потребители узнают больше о самом продукте и учатся эффективно его использовать. Этот процесс может значительно растянуться. Так, считается, что «парадокс продуктивности» новых ИКТ был разрешен только тогда, когда крупные инвестиции пользователей в них стали более рентабельными [Jorgenson et al., 2008]. С этим связан соответствующий тезис: поскольку потребители играют важную роль в формировании инновационных продуктов, неразумно предполагать, что изобретатели и разработчики имеют четкое представление о том, как именно такие продукты будут применяться.

Этот факт заставляет вывести наш анализ за рамки метода S-кривых и перейти к концепциям организационного обучения, технологической конфигурации и «переизобретения». Пользователи и создатели комплементарных инноваций могут эффективно их модифицировать, например, путем нахождения новых способов и сфер применения, которые не могли предвидеть изобретатель или поставщик даже спустя годы после первого появления продукта на рынке. Например, в начале 1980-х гг. производители персональных компьютеров были осведомлены о тенденции среди потребителей использовать их в развлекательных целях, например, для видеоигр (что поразило бы компьютерных первопроходцев!), но лишь немногие из них могли предсказать широкое распространение мультимедиа-приложений в Интернете, появление социальных сетей и т. д.

Рассмотренные подходы предполагают также и то, что социальные и технологические сети, из которых и состоит экономика, могут меняться с развитием

инновационного процесса, включая изменение связей между производителями и потребителями новшеств, смену посредников (в частности, регулирующих и обучающих организаций) и т. д. Развитие социальных сетей, требующихся для успешного распространения инноваций, может занять длительное время, а политические меры способны как стимулировать инновационный процесс, так и препятствовать ему.

Фундаментальные инновации: выход за пределы метода S-кривых

Перечисленные вопросы были рассмотрены, чтобы обеспечить понимание основ анализа инноваций, необходимых для обсуждения развития нанотехнологий. Иначе осознание потенциала производства на наноуровне может нести в себе риск появления чрезмерного энтузиазма.

Общий принцип различных исследуемых нами перспектив — ожидание непрерывных изменений и постоянного роста возможностей. Если даже мы окажемся свидетелями технологической революции или непоследовательной серии радикальных технологических изменений в ряде отраслей (обрабатывающее производство, здравоохранение и др.), они и дальше будут играть ключевую роль в структуре занятости, компетенций и т. п. Опыт ранних технологических изменений может стать ценным руководством при анализе сфер применения нанотехнологий. Проводя подобные «исторические аналогии» [Bell, 1964], мы всегда должны помнить, что специфика технологий и контекстуальные изменения, такие как глобализация, конкуренция, экономические подъемы и спады, войны и другие кризисы (экологический, здравоохранения, безопасности и т. п.) могут сузить диапазон обобщений на базе опыта прошлого. Подобные факторы могут как замедлить темпы перемен, так и ускорить развитие отдельных технологических направлений. Кроме того, они способствуют формированию новых рынков (в том числе государственных закупок, предметов роскоши), сосредоточив на них инновационные усилия.

Нанотехнологии как революционное направление

Какие нанотехнологии?

Многие эксперты считают, что нанотехнологии производят очередную революцию. По некоторым мнениям, они могут стать «последователем» уже состоявшейся революции в сфере ИКТ и набирающей обороты биотехнологической революции. Ряд специалистов настроены скептически в отношении многочисленных утверждений о будущем потенциале нанотехнологий — они полагают, что нанороботы и поатомная сборка могут появиться, в лучшем случае, в долгосрочной перспективе. Но даже скептики, пожалуй, впечатлены многообразием продуктов и областей их применения, идущих под вывеской «нано». Критики сходятся в том, что нанотехнологические разработки слишком многогранны, чтобы рассматриваться как

К. Фримен [Freeman, 1974; Freeman, Louca, 2002; Freeman, Perez, 1988] отмечал, что значимость инноваций в производстве сильно варьируется. Некоторые новые технологические процессы являются незначительными модификациями уже известных методов. Как правило, они требуют минимальной переподготовки персонала и реорганизации деятельности, обеспечивая только сокращение производственных издержек или частичное повышение качества продукции. С другой стороны, некоторые новые технологии влекут за собой критические изменения: они могут быть использованы для усовершенствования способов производства во многих секторах и содействовать кардинальному пересмотру организации работы или даже свойств конечных продуктов организаций-пользователей. Исходя из этого К. Фримен предложил типологию инноваций, которая, в порядке возрастания значимости, выглядит следующим образом.

- **Инкрементальные инновации.** Имеют более или менее непрерывный характер даже на поздних стадиях жизненного цикла продукта; обычно подразумевают небольшие модификации, требующие незначительной переподготовки персонала, изменения отдельных рабочих практик и общей организации деятельности; их источниками зачастую являются изобретения и усовершенствования, предложенные инженерами, рабочими или пользователями.
- **Радикальные инновации.** Подразумевают более существенные изменения, которые могут выразиться в формировании новых квалификаций, схем организации работы и процесса производства. Существует «правило правой руки», позволяющее отличить радикальные инновации от инкрементальных: наличие новых руководящих

документов. Источником радикальных инноваций зачастую являются формализованные ИиР, обычно проводимые поставщиком; они могут включать как продуктовые инновации, так и изменения в процессах производства и его организации. Таким образом, радикальные инновации способны порождать новые рынки либо расширять существующие, запуская новые продуктовые циклы или «обновляя» имеющиеся изделия.

- **Новые технологические системы.** Фундаментальные изобретения (возможно — результат ИиР в отраслях-поставщиках, которые до сих пор мало контактировали с потребителями) формируют основу для реорганизации всего набора производственных процессов вне рамок конкретного сектора. Радикальные и инкрементальные инновации, основанные на появлении новых технологий, возникают в целом спектре соответствующих секторов. Новые технологические системы, как правило, развиваются сравнительно долго, поскольку требуют значительных организационных нововведений и формирования новых рынков.
- **Технологические революции.** В данном случае фундаментальные изобретения порождают новые «стержневые» технологии, которые могут быть применены для трансформации производства и создания современных продуктов в целом ряде видов деятельности и во многих секторах экономики. На деле различные новые технологические системы развиваются параллельно. При этом возможен длительный период распространения и развития, поскольку в разных областях иницируются многочисленные социальные, институциональные и организационные перемены.

единая область знаний: ведь многие виды деятельности были переклассифицированы в нанотехнологии из соображений привлечения финансирования, а значит, терминология может вновь измениться, когда появится новая модная тенденция. Нанотехнологии сосредоточены на управлении свойствами вещества и его реструктурировании в наномасштабе — обычно на уровне менее 100 нм (хотя возможность исследовать явления, протекающие на наноуровне, как таковая, не является нанотехнологией). Но это не объясняет, какие именно свойства являются объектом управления, как это происходит и на что может повлиять.

Нанотехнологии как революционное направление представляют большой интерес. Есть мнение, что управление процессами на наноуровне дает нам колоссальный потенциал для преобразований, который уже реализован в некоторых видах деятельности. На протяжении тысячелетий человечество создавало и применяло «новые» материалы, и многие из них, ставшие привычными для потребителей лишь в по-

следние несколько десятилетий, к примеру, пластмассы, прошли достаточно продолжительный путь развития. Имеются чрезвычайно интересные и совершенно новые (или неизвестные) вещества, которые были открыты сравнительно недавно, например, фуллерены, углеродные нанотрубки и металлизированные углероды. Нанотехнологии подразумевают появление нестандартного подхода к передовым материалам — не как к отдельному классу нового сырья или к веществам, используемым в производстве. Знания в области нанотехнологий, используемые сегодня в экономической деятельности, — это, по большому счету, навыки освоения ряда эффективных способов изготовления, формирования и структурирования инновационных материалов. Это позволит эффективно и точно задать им необходимые свойства — на нано- и даже на атомном и молекулярном⁴ уровнях (чипы с выгравированными на них микросхемами).

Майк Роко, один из организаторов Национальной нанотехнологической инициативы США

⁴ Содержательная оценка в контексте передовых материалов приведена в работе [Cohendet et al., 1991].

(National Nanotechnology Initiative), утверждает, что развитие нанотехнологий будет состоять из четырех этапов (рис. 2) [Roco, 2007]:

1. Первое поколение нанотехнологий, возникшее на рубеже столетия, — пассивные наноструктуры, применяемые для разработки макросвойств и функций. Они представляют собой материалы, созданные для выполнения определенной задачи, их свойства со временем не изменяются. В качестве примеров можно привести наноструктурированные покрытия, дисперсные наночастицы, массивные материалы — наноструктурированные металлы, полимеры и керамику.
2. Второе поколение, существующее с начала нынешнего века, — активные наноструктуры. Их задача — производить механические, электронные, магнитные, фотонные, биологические и другие эффекты. Как правило, они интегрированы в микроустройства и системы. Сюда относятся новые транзисторы, компоненты нанoeлектроники (за исключением КМОП), усилители, лекарственные препараты и химикаты направленного действия, активаторы, искусственные «мускулы» и адаптивные структуры.
3. Третье поколение, появление которого ожидается в начале второго десятилетия текущего века, — системы, состоящие из трехмерных наносистем. Они конструируются с использованием тысяч взаимодействующих компонентов при помощи различных технологий, таких как био-сборка, робототехника и эволюционные процессы. Ключевая проблема при создании подобных систем — обеспечение благоприятной сетевой среды для работы в наномасштабе и создание иерархических структур. По мнению Роко, ее решению будут способствовать исследования в таких областях, как гетерогенные наноструктуры и проектирование

супрамолекулярных систем. Сюда входят: направленная многомасштабная самосборка, искусственные ткани и сенсорные комплексы, квантовые взаимодействия в рамках наносистем, обработка информации с использованием фотонов или электронного спина, сборка нанoeлектромеханических систем и построение конвергентных (нано-био-инфо-когнитивных) технологических платформ, интегрированных на наноуровне.

4. Четвертое поколение — гетерогенные молекулярные наносистемы. Рассматриваются как интегрированные наноподсистемы более крупных систем с иерархической структурой (функционирующие подобно клеткам сложных организмов). Каждая молекула в такой наносистеме имеет особую структуру, играет свою роль и будет использоваться как устройство: их сконструированное строение и организация обеспечат возникновение принципиально новых функций. Вследствие этого появятся, например, наноразмерные машины, наносистемная биология для здравоохранения, новые человеко-машинные интерфейсы на уровне тканей и нервной системы.

На рис. 3 представлен прогноз развития рынков нанотехнологий, предложенный Роко.

В области «нано» вряд ли будет доминировать какая-либо «стержневая» технология, подобно микроэлектронике в сфере ИКТ или геному секвенированию/манипулированию в биотехнологиях. Но ее появление не исключено, если один из существующих методов докажет свое право стать основой для развития ряда нововведений. Многообразие подходов к нанотехнологиям — начиная с микроэлектроники, материаловедения, биотехнологий, фармакологии и т. п. — может снизить эту вероятность. Тем не менее, пример ИКТ — один из тех, где несмотря на то, что микроэлектроника заняла ключевую позицию, имеются

Рис. 2. Поколения нанотехнологий (прогноз Роко)



Источник: [Roco, 2007].

Табл. 1. Характеристика технологий новых материалов

Параметр	Описание
Информационный контент	Навыки ИиР, обработки и конструирования составляют большую долю общих затрат, энергия и сырье — меньшую.
Сложность	Улучшенный контроль микроструктуры материалов: передовые материалы часто состоят из ряда структурных компонентов, обеспечивающих желаемый состав с особыми свойствами. Требуется вклад междисциплинарных знаний.
Интеграция функций	Помещение более производительных характеристик в меньшие объемы, сокращение операций в производственном процессе.
Добавленная стоимость	Высокие цены за единицу продукции связаны с информационным контентом и требуемым уровнем обработки.
Многообразие	Широкий спектр различных материалов, отражающий многообразие методов обработки и используемого сырья, объем доступных научных и инженерных знаний; лучшее соответствие требованиям пользователей.
Объем рынка	Уже оказывает влияние практически на все сектора обрабатывающей промышленности, особенно высокотехнологичные; вероятно, создаст эффект мультипликации для всей экономики.
Рост рынка	На фоне многих традиционных материалов, достигших пика своих возможностей и насытивших рынки, передовые материалы демонстрируют стремительный рост.
Жизненный цикл	Очевидно короткий, отражает растущую конкуренцию среди постоянно улучшающихся материалов и сокращенный жизненный цикл продуктов, в производстве которых они применены.

и другие многочисленные взаимосвязанные технологии: дополняющие (программное обеспечение) или более независимые (оптроника и фотоника). Существуют определенные методы концептуального и эмпирического анализа, демонстрирующие, насколько прочным должен быть кластер ключевых движущих технологий, чтобы спровоцировать технологическую революцию.

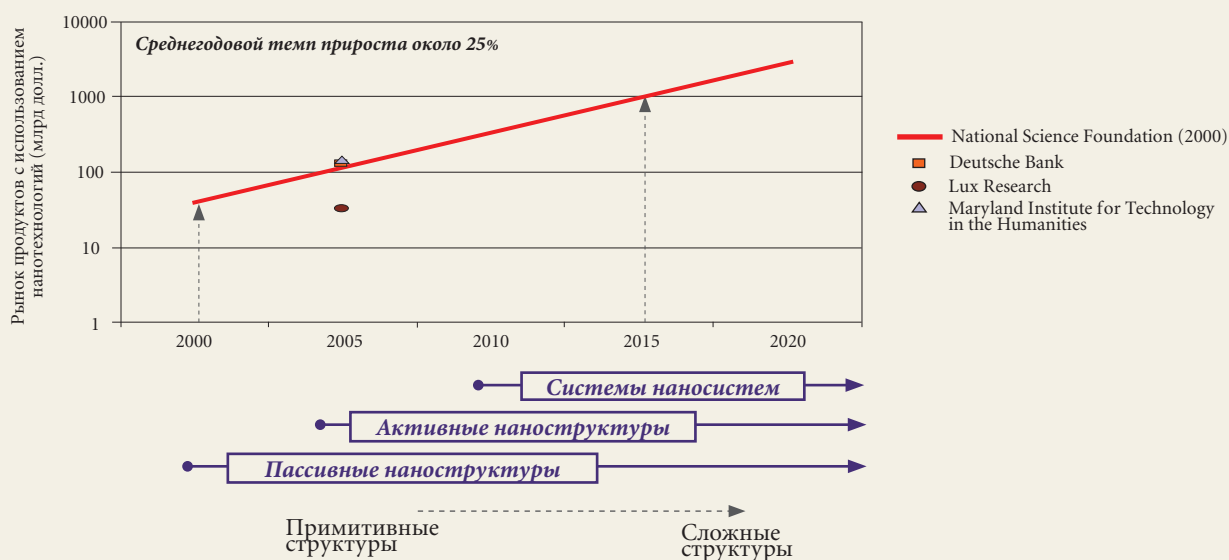
Нанотрансформация — это комплекс технологий с чрезвычайно широкой областью применения. Рассмотрим, к примеру, передовые материалы. В работе [Barker, 1990] отмечается потенциально большой охват сфер использования технологий создания новых материалов, при этом указывается на то, что на соответствующие сектора в индустриальных экономиках может приходиться 5–10% объема производства, а стоимость этих материалов составляет до 60% затрат производителей. Сегодня передовые материалы составляют лишь малую часть общего их рынка. Таким образом, революции инновационных материалов, если о таком явлении можно говорить, предстоит долгий путь,

хотя их роль во многих стратегических приложениях (аэрокосмический сектор и т. п.) уже сейчас весьма значительна. Баркер определяет ряд характеристик, отличающих новые технологии изготовления материалов от традиционных (табл. 1). Очевидно, что они представляют особую важность для современной промышленности, а значит, требуют пристального внимания со стороны производителей и потребителей, ведь их новые свойства могут способствовать появлению инновационных продуктов и процессов.

Инновации и их распространение

Обычная S-кривая, отражающая процесс диффузии технологий, первоначально была введена для описания схемы постепенного освоения какого-либо продукта или процесса отдельными потребителями, регионами или предприятиями. Логично было бы использовать ее и для анализа моделей диффузии по секторам; кроме того, она пригодна и для исследования влияния новых технологий на компетенции и занятость. При изучении

Рис. 3. Прогнозы объемов рынков нанотехнологий



Источник: [Росо, 2007].

Табл. 2. **Приложения нанотехнологий**

Медицина	Диагностика Доставка лекарств Выращивание тканей
Химия и экология	Катализ Фильтрация
Энергетика	Снижение энергопотребления Повышение эффективности производства энергии Использование менее вредных для окружающей среды энергосистем Повторное использование батарей
Информационно-коммуникационные технологии	Хранение данных Новейшие полупроводниковые устройства Передовые оптоэлектронные устройства Дисплеи Квантовые компьютеры
Тяжелая промышленность	Аэрокосмический сектор Строительство Обогатительное производство Транспортное машиностроение
Потребительские товары	Продовольствие Товары бытового назначения Оптика Текстиль Косметика

Примечание: Приведенный перечень носит иллюстративный характер. Автору известны приложения нанотехнологий в гораздо более широком спектре отраслей — например, наносенсоры для сельского хозяйства и охраны окружающей среды — и многие другие области применения в рамках секторов, перечисленных в таблице (наносистемы для топливных элементов и батарей).

Источник: Wikipedia “List of nanotechnology applications”, http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_nanotechnology_applications (дата обращения 27.03.09).

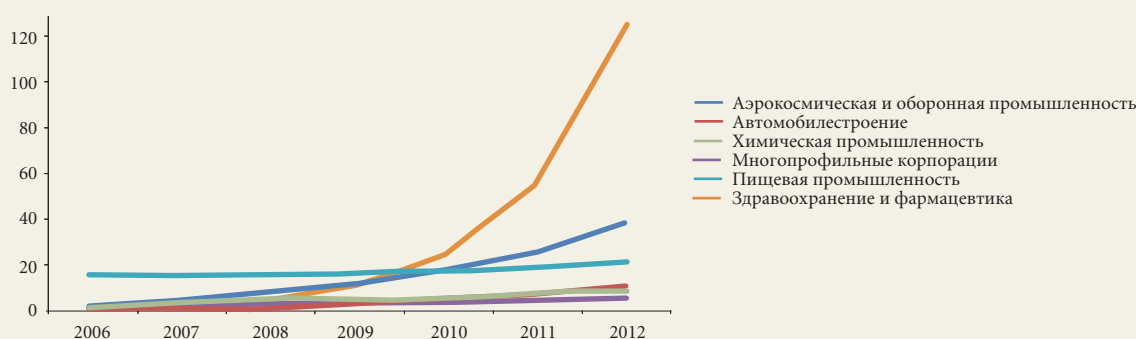
спроса на рабочую силу в области нанотехнологий проблема состоит в том, что они являют собой не какую-то единую технологию, а их внедрение потенциально возможно во многих сферах потребления и производства. Будет гораздо сложнее оценить и спрогнозировать тренды их распространения, чем в случае с микроэлектроникой, где исследования были направлены на выявление доли продуктов и процессов, требующих использования микропроцессоров или, например, создаваемых или управляемых при помощи робототехники.

В табл. 2 представлен перечень возможных приложений нанотехнологий, которые могут быть применены в отдельных секторах. Попытка составить будущую хронологию применения нанотехнологий была предпринята в исследовании, проведенном для технических колледжей Техаса [Vanston, Elliot, 2003] (табл. 3). Более современный и структурированный по секторам прогноз [Harper, 2008] представлен на рис. 4. В нем большинство трендов адресовано конечным пользователям. Поэтому электроника не представлена как сфера использования нанотехнологий, хотя наномасштабное конструирование в данном секторе уже давно стало

реальностью. Следует отметить ожидаемый скачок от высокотехнологичных военно-аэрокосмических приложений к тем, которые сосредоточены на социальных проблемах, таких как здравоохранение и продовольствие.

Более точное прогнозирование требований к компетенциям потребует детальных и обоснованных оценок применения нанотехнологий в различных прикладных направлениях. Наиболее разумным шагом представляется идентификация их ключевого кластера с последующей попыткой оценить степень и скорость, с которой они могут быть внедрены в различных секторах, странах, компаниях разных типов и т. д.

В отсутствие достоверных данных или экспертных оценок, дающих основу для достаточно детального анализа, единственным возможным шагом в настоящее время является схематичное описание линий развития, которые могут иметь место, если нанотехнология докажет свое право быть технологией общего назначения и применяться во многих областях. Такой сценарий кажется правдоподобным, учитывая несомненные преимущества приложений, которые порождает первое поколение нанотехнологий.

Рис. 4. **Эволюция рынков нанотехнологий (млрд долл.) по областям приложений: 2006–2012**

Источник: [Harper, 2008].

Табл. 3. Прогноз коммерческой реализации нанотехнологий по версии Ванстона и Эллиотта

Краткосрочный период (до 3 лет)	Среднесрочный период (3-5 лет)	Долгосрочный период (более 5 лет)
<i>Умеренные коммерческие возможности</i>		
Инструменты, компьютерное моделирование	Инструменты	Инструменты
Наноматериалы (металлические и керамические нанопорошки, фуллерены, углеродные нанотрубки)	Наноматериалы (металлические и керамические нанопорошки, фуллерены, углеродные нанотрубки)	Наноматериалы (металлические и керамические нанопорошки, фуллерены, углеродные нанотрубки)
<i>Важные коммерческие возможности</i>		
-	Науки о жизни (диагностика)	Науки о жизни (диагностика, технологии скрининга и маркировки)
-	Электроника/ИКТ/оптические устройства	«Умные» наноматериалы
-	Компьютерное моделирование	-
<i>Крупные коммерческие возможности</i>		
-	Науки о жизни (доставка лекарств)	Науки о жизни (доставка лекарств, конструирование и разработка)
-	Электроника/ИКТ (хранение данных, микропроцессоры)	Электроника/ИКТ/оптические устройства (хранение данных, оперативная память, оптические компоненты, молекулярные и квантовые вычисления)
-	-	Наноэлектромеханические системы

Источник: [Vanston, Elliot, 2003].

На рис. 5 показаны перспективы появления многочисленных кривых распространения, возникающих по мере развития новых наноинструментов. Эти кривые представляют собой различные области применения, характерные для того или иного спектра пользовательских секторов (широкого или узкого). Попытка соответствовать точным временным периодам или конкретизировать ведущие или отстающие сферы применения не была предпринята, поскольку требует более детального экспертного исследования (хотя кажется справедливым предложение некоторых обобщений о типах компаний или, вероятно, отраслей, которые станут ведущими потребителями). Может вызвать удивление, что некоторые продукты найдут иное применение, чем прогнозировали изобретатели и новаторы-первопроходцы. К тому же

мы скорее всего столкнемся с препятствиями регулятивного, технического или компетентного характера, из-за которых подъем некоторых S-кривых рискует оказаться медленнее, чем ожидалось. Вероятно, это является одной из причин того, что многие прогнозы быстрой смены технологических поколений оказались преждевременными⁵.

Инновации и спрос на компетенции

Нанокomпетенции?

Что нам известно о требованиях к компетенциям, связанным с технологическими сдвигами? Очевидно, они будут различны применительно к вышеназванным

Рис. 5. Кривые распространения новых ключевых технологий



⁵ Подробнее о радикальных и более реалистичных оценках смены поколений технологий см. [NIA, 2007].

видам инноваций, поэтому следует обратить внимание на важнейшие технологии, которые оказывают влияние на многие отрасли и процессы; можно полагать, что нанотехнологии относятся именно к этой категории.

Ранее обозначенные рамки дают базовые представления об изменениях природы ключевых технологий (например, в направлении более стандартных и практичных конструкций) по мере развития рынка (обычно по S-кривой распространения технологий и в зависимости от роста числа их приложений). Они не отражают темпы эволюции той или иной области, хотя определенно предостерегают от прогнозов о еще не появившемся товаре и оказывают влияние на компетенции и связанные с ними институциональные вопросы. Например, в течение долгосрочного периода (причем с возрастающей интенсивностью) мы можем ожидать повышения фундаментальных требований к знаниям специалистов об основах технологий в части ИиР и возникающих приложений. Параллельно появится необходимость в знаниях и навыках работы с новыми разработками, сочетающих имеющиеся базовые компетенции с хорошим пониманием самой технологии. Вначале эта потребность будет проявляться не столь отчетливо, но со временем ее значимость увеличится. В перспективе последствия введения новой технологии затронут многих работников — им понадобятся не узкоспециализированные знания о ней, но скорее более широкие практические навыки ее использования в специфических условиях. В это время вероятно формирование новых профессиональных классификаций, специальностей, аккредитаций, ассоциаций и сетей; возможна перестройка структуры учебных курсов и появление новых институтов.

Такой процесс может растянуться на несколько десятилетий. Предвидеть реальное продвижение нанотехнологий весьма сложно. Например, некоторые эксперты ожидают значительного роста рынка в ближайшие несколько лет. Несмотря на текущий экономический кризис, Тим Харпер (консалтинговая компания SMP Scientifica) в своей статье, опубликованной в газете "Guardian"⁶, прогнозирует «стремительный взлет в 2011 г. и процветание индустрии к 2012 г.» Объем рынка нанотехнологических продуктов в области фармацевтики и здравоохранения к 2012 г. оценивается в 3,2 трлн долл., при этом 14% (40 млрд долл.) отводится на продукцию военного назначения. Доля автомобильной промышленности составит 4%, пищевой — до 2%, значительной будет и часть продуктов, предназначенных для борьбы с загрязнениями. Роль Китая в развитии нанотехнологий станет сопоставимой со степенью участия США и ЕС. В том же газетном материале Ричард Аппельбаум (Центр нанотехнологий для общества Университета Каролины — Center for Nanotechnology in Society, University of Carolina) высказывает мнение, что к 2014 г. нанотехнологические продукты составят около 15% объема производства обрабатывающей промышленности. Подобные оценки впадают в тер-

минологические проблемы — имеются ли в виду наноматериалы, системы или продукты, имеющие в своем составе наноконпоненты? Поразительно, что когда шумиха вокруг нанотехнологий стала постепенно затихать, различные СМИ с новой силой начали их пропаганду.

Между тем проблема занятости в сфере нанотехнологий вызывает большую озабоченность. Некоторые сторонники их распространения достаточно позитивно оценивают потенциал создания новых рабочих мест. Так, в работе [Roco, 2007] цитируются оценки экспертов из промышленности и науки и прогнозируется, что к 2015 г. благодаря нанотехнологиям во всем мире будет произведено продуктов на сумму около 1 трлн долл. и с этим будут связаны 2 млн рабочих мест. По аналогии со сферой ИКТ, где на каждого работника приходится 2,5 новых рабочих места в смежных областях, суммарный потенциал нанотехнологий на мировом рынке к 2015 г. составит 7 млн занятых. И действительно, появление первого поколения наноструктурированных металлов, полимеров и керамики уже успело оказать влияние на рынок.

Лишь единичные исследования посвящены изучению более конкретных требований к профессиональным навыкам, включая обзор тенденций занятости, анализ объявлений о найме на работу или даже мнений представителей индустрии⁷. В процессе подготовки статьи нам удалось обнаружить лишь два подобных исследования.

Задачей одного из них [Vanston, Elliot, 2003] является информирование технических колледжей. Несмотря на то, что большая часть опубликованных прогнозов носит довольно оптимистичный характер, в докладе подчеркиваются и неопределенности, связанные с развитием нанотехнологий. С их учетом делается акцент на базовые компетенции, необходимость в которых может возникнуть в разных целевых областях. Образовательным учреждениям рекомендуется скоординированно разработать соответствующие учебные программы, введение которых обязательно до тех пор, пока спрос на те или иные навыки не станет более явным. Произойдет это, вероятно, после повсеместного распространения нанотехнологий. Как уже упоминалось, коммерческие приложения в разных областях развиваются по схеме, приведенной в табл. 3. Таким образом, можно говорить о существовании определенных моделей появления спроса на компетенции в сфере нанотехнологий. Наибольшие возможности для трудоустройства выпускников представляет сфера наноматериалов: так, обязанности техников охватывают контроль производственного процесса, качества продукции, калибровку и техническое обслуживание оборудования, обучение пользователей и реагирование на их запросы. Стратегически важное, но практически не требующее привлечения высококвалифицированных сотрудников направление, — инструментальная подготовка и компьютерное моделирование. Очевидны долгосрочные перспективы электронных, оптиче-

⁶ Guardian. London, 26.03.09, Technology Supplement, p. 1.

⁷ В работе [Roco, 2007] со ссылкой на газету "Small Times" отмечается, что «в марте 2005 г. из 1455 нанотехнологических компаний США примерно половина относилась к сектору малого бизнеса, в малых стартовых наноконпаниях было создано 23 тыс. рабочих мест».

ских и информационных приложений, хотя в срочном порядке потребуется лишь ограниченная численность специально обученных работников: компетенции могут быть аналогичны тем, которые необходимы для работы с компьютерами и микроэлектроникой. Науки о жизни создадут спрос на компетенции более высокого уровня, чем у техников, что может стать ограничивающим фактором. Нанотехнологии могут повлиять и на профессии в сфере здравоохранения. В области охраны окружающей среды нанотехнологии потребуют навыков обработки данных, поддержки функционирования инноваций, эксплуатации и ремонта оборудования, администрирования. Подобное структурирование нанотехнологий по секторам несет в себе значительные перспективы, — анализ спроса на рабочую силу может быть усовершенствован путем качественной оценки распространения этих технологий, — хотя на практике исследуемые направления представляются довольно ограниченными.

В докладе также приведены описания должностей, содержащие требования к компетенциям, например, для медико-технолога, который должен обладать передовыми техническими знаниями для проведения клинических лабораторных тестов и процедур с использованием нанотехнологий. Среди рассматриваемых специальностей — техник-механик, техник-электронщик, машинист, механик-конструктор и т. д.

В еще одном заслуживающем внимания исследовании [Hendry, 1999] рассмотрены три новых технологических направления — оптоэлектроника, биотехнологии и передовые материалы. В Великобритании для изучения в них спроса на компетенции применялись методы интервьюирования и сканирования литературы.

Передовые материалы — наиболее близкая к нанотехнологиям область, но не будучи непосредственно ограниченной наноуровнем, она охватывает и другие манипуляции с новыми материалами (нанотехнологии, не имеющие к ним отношения, не были включены в исследование). К ним были отнесены полимеры, керамика, высокопроизводительные металлы, а также композиты и ламинаты. Эта область достигла в Великобритании высокого уровня развития (достаточно упомянуть Институт материаловедения — Institute of Materials). В то же время оптоэлектроника чрезвычайно фрагментирована. Хендри отмечает, что подъем передовых материалов проходил медленнее, чем прогнозировалось: доминировали низкокостные высокоценные продукты, в основном производимые малыми и средними предприятиями (крупные компании во время подготовки исследования в этом секторе не функционировали). Быстрый рост был преимущественно обусловлен спросом со стороны аэрокосмического сектора и автомобилестроения.

Хендри выделяет три ключевых набора компетенций, связанных с передовыми материалами [Hendry, 1999, p. 6]:

- базовые знания о конкретных материалах, навыки синтеза, конструирования, обработки, формовки;
- владение инфраструктурными технологиями, например методами ультрапрецизионных измерений и испытаний, моделирования и имитации;

- навыки управления проектами и организации деятельности, необходимые для выполнения сопутствующих инжиниринговых работ, при которых дизайн продукта осуществляется в тесной взаимосвязи с проектированием производственного процесса, а потребители и поставщики вовлекаются в процесс конструирования уже на ранней стадии, что позволяет соответствовать сокращающимся циклам разработки.

Изучение требований к квалификации инженеров подчеркивает неопределенность, связанную с разработкой приложений передовых материалов. Это предполагает непосредственное взаимодействие исследователей и разработчиков с поставщиками и потребителями, доказывая высокую значимость «мягких» компетенций. Хендри описывает их как ориентирующие, относя сюда креативность, способность решать проблемы, самостоятельность, коммуникативные навыки, понимание бизнеса, умение использовать и интегрировать знания из других дисциплин. Последнее особенно важно в силу растущего многообразия приложений и имеет междисциплинарный, межпрофессиональный характер. В мире информационных технологий все чаще встречается термин «Т-индивид» — человек, сочетающий глубокие профессиональные знания в какой-либо области с осведомленностью о терминологии, концепциях и проблемах в различных сферах бизнеса и/или технологий. Схожая оценка появляется у Хендри при описании наук о материалах со ссылкой на определение Каунидеса: «Мультидисциплинарная наука, требующая вклада из областей физики твердого тела, химии, металлургии, керамики, композитных материалов, наук о свойствах поверхностей и межфазовом взаимодействии, математики, информатики, метрологии и технических наук... резкое деление различных дисциплин нецелесообразно ... барьеры между ними начинают стираться. Исследование элементарных частиц, атомов и молекул относится ко всем материалам независимо от их происхождения...» [Kaounides, 1995, p. 15].

Подобные междисциплинарные знания и компетенции часто упоминают в связи с инновационными отраслями. Это одна из причин, подтолкнувших Хендри к выводу, что вопрос нехватки специалистов требует комплексного решения: необходимые умения часто существуют, но представлены не в оптимальных комбинациях.

В работе [Abicht, 2009] содержатся результаты опроса представителей 178 нанотехнологических компаний Германии. Отмечая, что более половины их сотрудников имеют университетские степени, автор приходит к выводу, что деятельность этих компаний отличается высокой наукоемкостью. Чем меньше организация, тем выше удельный вес работников с учеными степенями. Остальные сотрудники — квалифицированные рабочие (20%), мастера и техники (10%); административный персонал и неквалифицированные работники составляют менее 10%. По мнениям респондентов, доля квалифицированных кадров будет расти по мере перехода от ИиР к производству и услугам. Ожидается значительный рост количества рабочих мест: численность занятых в малых и средних наноконпаниях

вырастет с 27.3 тыс. чел. в 2008 г. до 43.2 тыс. чел. к 2013 г., причем основной прирост придется на ближайшие два года (!). В связи с этим половина фирм выражает намерение удовлетворить свой спрос на дополнительное образование при помощи внешних образовательных учреждений. Автор исследования подчеркивает, что из-за потребности в междисциплинарных навыках сотрудничество с университетами и научными организациями является необходимым инструментом передачи знаний нанотехнологическим компаниям. В ходе обследования также было выявлено, что пока немногим образовательным учреждениям удалось успешно адаптироваться к потребностям новой индустрии. Опрошенные высказали мнение, что институты дополнительного образования должны, в первую очередь, отвечать требованиям малых организаций.

Проблема определения наиболее востребованной комбинации базовых и специализированных знаний о технологиях и сферах их применения, а также их комбинирования с навыками проектного менеджмента и сотрудничества, часто вызывает затруднения при планировании тренингов и других мероприятий по подготовке персонала. Академическое сообщество уделяет особое внимание междисциплинарным компетенциям, тогда как промышленность скорее требует специализации на конкретных приложениях и выражает претензии по поводу недостаточного внимания к развитию навыков работы в определенных подотраслях. Институтам подготовки персонала требуется информация о той степени глубины знаний, которая будет востребована работниками, находящимися на разных ступенях должностной иерархии. Хендри, к примеру, указывает на важность промежуточных технических навыков. Для успешной работы индустрии потребуются квалифицированные кадры всех уровней, обладающие специализированными компетенциями. При этом, если и возникнет проблема, то она будет касаться вопроса достижения их оптимального соотношения.

Компетенции и жизненные циклы продукта

До сих пор исследования компетенций в сфере нанотехнологий были представлены лишь в рамках изучения спроса на них на ранней стадии индустриального развития. Поэтому современные требования к ним не в полной мере охватывают будущие масштабы и формы.

В этой связи вернемся к обсуждению продуктовых циклов. Теттер и его коллеги [Tether et al., 2005] рассматривают профессиональные характеристики сотрудников на трех фазах жизненного цикла.

1. На начальной стадии формирования продукта или отрасли ключевыми являются предпринимательские компетенции, часто сочетающиеся с научными, техническими и маркетинговыми специализациями. Требующиеся производственные навыки носят скорее общий, а не специфический характер, поскольку работники адаптируются к быстро меняющимся технологиям и тенденциям спроса.
2. На следующем — переходном — этапе, когда на смену продуктовым инновациям приходят

процессные, знания в сфере менеджмента становятся более функциональными и требующими научного подхода, а компетенции работников — узкопрофильными, с четким разделением труда. Ввод нового специализированного оборудования вначале будет способствовать повышению квалификаций сотрудников, но по мере развития индустрии и вступления ее в фазу зрелости, работники становятся все менее квалифицированными, поскольку оборудование получает широкое распространение и становится простым в использовании.

3. На последней фазе продуктового цикла большая часть производства переходит на субконтрактную основу в страны с низкими производственными затратами (прежде всего на оплату труда). Такая схема перевода в оффшоры стала классической для обрабатывающих отраслей, она применима и к современным секторам сферы услуг, активно использующим ИКТ для налаживания прямых связей между поставщиками и потребителями. Некоторые наукоемкие виды деятельности, отличающиеся высокой добавочной стоимостью, — дизайн, непрерывные ИиР (в т. ч. для дифференциации продуктовой линейки и создания новых продуктов), маркетинг и стратегическое управление — могут остаться в той стране, где они появились. В данном случае руководство должно обладать навыками управления, тогда как основной массе работников достаточно иметь общую или даже низкую квалификацию (сюда же относятся сбыт и логистика).

Подобный подход обладает рядом преимуществ, но при рассмотрении нанотехнологической продукции, которая может иметь ключевое значение для широкой группы секторов-потребителей, имеет смысл дифференцировать отрасли, «обновляющие» базовые нанотехнологии, и те, в которых используются их приложения. Такие «пользовательские» индустрии часто сами выступают в роли инноваторов, создавая новые приложения, продукты и процессы с использованием нанотехнологий. Теттер делает основной акцент на подобных новаторах в сфере базовых нанотехнологий и на предприятиях-потребителях, являющихся активными пользователями нанотехнологий.

В работе [Jones et al., 2007] углубленно изучаются навыки, требующиеся для продвижения инноваций на различных стадиях становления нового продукта или процесса.

- **Поиск и отбор идей.** Требования к компетенциям связаны, главным образом, с выявлением, сбором и фильтрацией новаторских идей. Менеджеры (и рядовые работники) в сфере инноваций в идеале должны обладать знаниями об имеющихся источниках нововведений как внутри, так и вне своих организаций, способностью «сканировать горизонты» в поисках партнеров и развивать с ними отношения, способствующие появлению идей и стимулов для инноваций. Умение интерпретировать данные исследований рынка, потребителей и конкурентов и оценивать потенциал новых продуктов также критически важно. Кроме этого,

необходимым навыком является знание механизмов защиты интеллектуальной собственности и способность их применять. Когда инновационная идея отобрана для последующей разработки, на первый план выходят способности отстаивать ее жизнестойкость и потенциальную ценность, особенно в условиях высокой конкуренции между проектами.

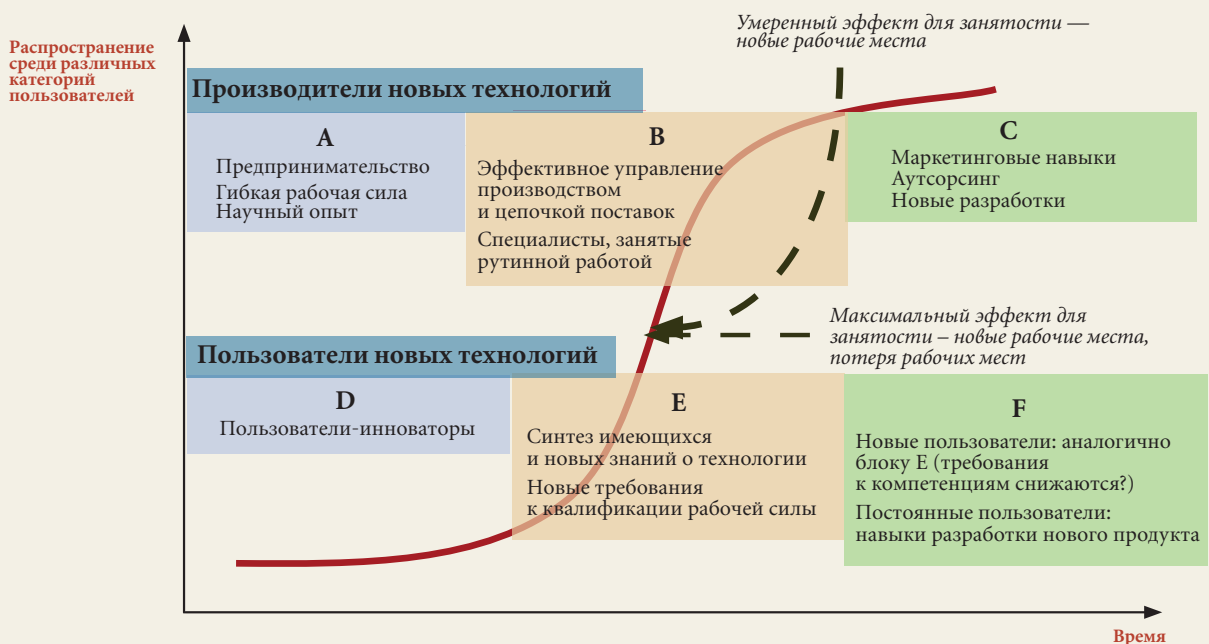
- **Развитие инновационных идей.** При обеспечении финансовой поддержки развитию инновационной идеи основное внимание направлено на практические аспекты ее реализации. Вступают в действие навыки, связанные с подбором команд разработчиков, распределением финансовых и других ресурсов и управлением ими, созданием соответствующих условий для экспериментирования, привлечения и использования дополнительных вложений, а также создания сетей и партнерств, которые предполагается вовлечь в проект. При разработке новых продуктов и технологий, часто основной проблемой является наличие технических и проектных компетенций.
- **Испытания, стабилизация и коммерциализация.** Ключевая компетенция на стадии «стабилизации» — оценка рисков и преимуществ продолжения экспериментирования. «Экономичная» инновация требует способности определить оптимальный момент, когда следует остановить процесс создания прототипа и сравнить его с конкурирующими альтернативами. При этом важно понимать, какие предпочтения и требования выдвинут потенциальные пользователи (заказчики) к инновационному продукту; знать способы и уметь оценивать степень удовлетворения их потребностей. Нужно помнить также об их умении извлекать выгоду из инновации («абсорбционный потенциал»). Стабилизация и коммерциализация подразумевают, что инновационная

компания обладает навыками обеспечения воспроизводимости продукта или услуги с приемлемой себестоимостью и ценой (навыки техников, инженеров, проектировщиков и маркетологов часто являются здесь решающими). Кроме этого, коммерциализация требует уделить внимание «извлечению ценности» из инновации — прежде всего, умению управлять рисками и разрабатывать стратегии вывода продукта на рынок.

- **Внедрение и распространение.** Маркетинг, рыночное продвижение и распространение продукта часто рассматривают в тесной связи с опытом управления проектами и передачи технологий. Помимо этого, критичными являются навыки руководства и координации связей в цепочках поставок и создания стоимости, в оценке инновационных практик и производительности. Наличие обратной связи становится все более важным компонентом инновационной активности по мере того, как фирмы осознают, что сбор и оценка данных (т. е. управление знаниями и генерация информации) могут способствовать совершенствованию инновационных процессов.

Обзор этих компетенций позволяет сделать вывод, что продвижение нанотехнологий оказывает существенное влияние на формирование трендов занятости. Но очевидно, что количественно значимые требования к знаниям возникают по мере распространения приложений основных технологий. Например, текущие данные показывают, что в Европе около половины занятых являются пользователями компьютеров, а треть — сети Интернет. Это означает, что в процессе производства как минимум задействованы стандартные компьютерные навыки, такие как работа с текстами, электронными таблицами, базами данных, браузерами, поисковыми системами и т. п. Благодаря этому доля некоторых канцелярских работ существенно сократилась. Несмотря на то, что

Рис. 6. Жизненный цикл продукта: компетенции и занятость



подобные компетенции рассматриваются большинством профессионалов уже как базовые и входят в программу среднего образования в большинстве развитых стран, фокус на них является значимым шагом вперед. Более сложные ИКТ-компетенции и сопутствующие им технические навыки распространены гораздо меньше: специалисты по ИКТ составляют в Европе лишь небольшой процент рабочей силы, и только половина из них сосредоточена непосредственно в секторе ИКТ, а не в отраслях-потребителях⁸.

Итак, мы видим, что спрос на компетенции в отраслях-пользователях эволюционирует по ходу реализации продуктового цикла. На рис. 6 представлена схема, отображающая этот процесс, где лидирующие потребители являются в данном отношении инноваторами, стремящимися к высокому уровню понимания специфики наноинструментов и областей их применения. На более поздних стадиях продуктового цикла число пользователей растет и требуется больше специалистов, способных применить эти инструменты в тех или иных областях.

Такое разделение весьма схематично, нужна более четкая дифференциация многочисленных профессиональных позиций — исследователей, инженеров, техников, производственного персонала, менеджеров и т. д. — с целью картирования всего диапазона профессий, подверженных влиянию новых технологий. Обработывающая промышленность и другие сектора приложений будут опираться на наукоемкие бизнес-услуги и на приток квалифицированных специалистов и знаний из сферы образования и подготовки кадров и исследовательских организаций. Между тем ключевая идея предыдущей дискуссии о множественных продуктовых циклах заключается в том, что по мере развития конкретных приложений нанотехнологий и их внедрения в соответствующих отраслях промышленности образуется целая серия S-кривых. Требования к работникам будут сформированы в результате изме-

нения структуры занятости в этих отраслях с различными сочетаниями классов компетенций, возникающих в секторах-производителях и секторах-потребителях (рис. 7).

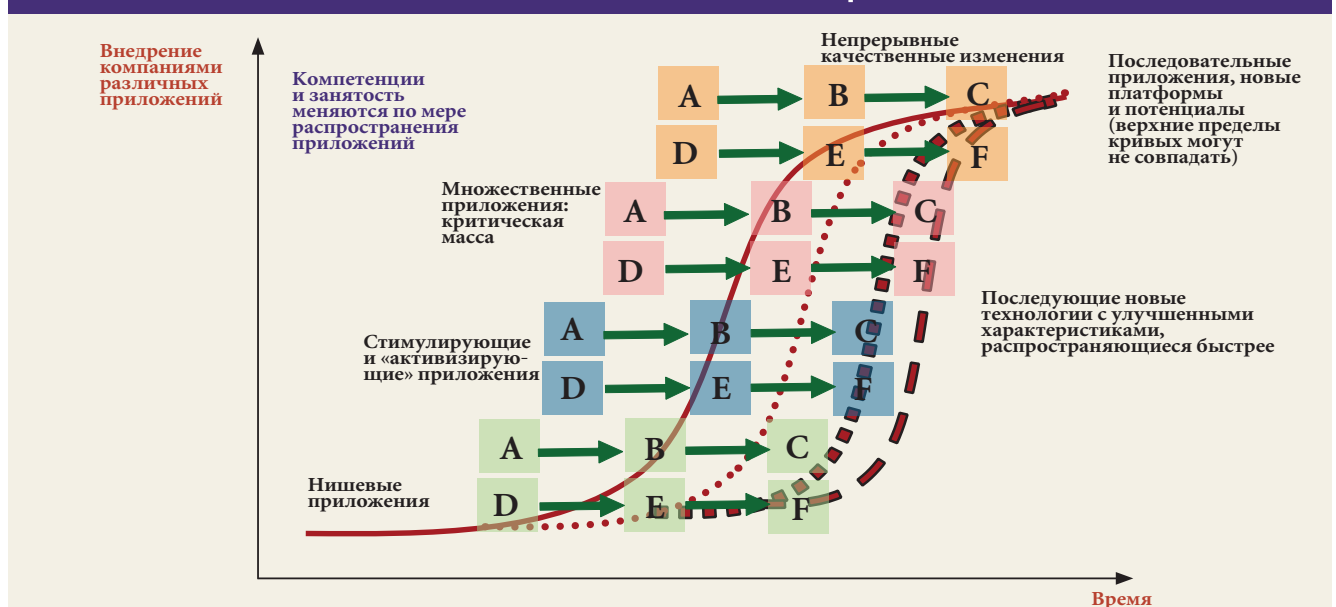
Вариации в содержании указанных требований в достаточной степени предсказуемы в зависимости от секторов и приложений, однако основной баланс между всеми типами навыков будет сформирован при помощи новых стратегий организации работы, включая аутсорсинг и оффшоринг. Таким образом, требования к компетенциям определяются не только лишь новыми технологиями.

Заключение

Оценка занятости в сфере нанотехнологий в долгосрочной перспективе предполагает рассмотрение ее в рамках многоступенчатой системы продуктового цикла и кривых диффузии. Последовательность создания рабочих мест и требований к персоналу зависит от усовершенствования базовых нанотехнологий за счет комплементарных технологий и их интеграции в различные сферы приложений, установления доминантных моделей, общих платформ и стандартов. Наибольшие эффекты для рынка труда кроются именно в этих областях применения, хотя не стоит недооценивать потенциальную значимость важнейших на сегодняшний день направлений (ИКТ и т. п.). Спрос на компетенции меняется по мере появления новых приложений; вероятно, в дальнейшем они будут объединены с инновациями, формирующими основу для передовых продуктов и отраслей.

«Калибровка» подобного подхода требует оценки скорости подъема и степени, в которой сами трансформационные процессы меняются под влиянием нанотехнологий. В дополнение к определению перспективных секторов и приложений, следует задуматься, насколько революционными могут стать нанотехнологии —

Рис. 7. Распространение многочисленных приложений новых ключевых технологий и их влияние на компетенции



⁸ В 2006 г. в Евросоюзе насчитывалось 4.2 млн работников в сфере ИКТ, тогда как примерно 180 млн человек использовали ИКТ в своей работе [CEPIS, 2006].

произойдет ли естественное расширение существующих приемов нанотехнологий или будут применены более радикальные методы молекулярного конструирования и нанотехнологий «снизу вверх». Обсуждение подобных перспектив становится особенно важным при выходе за рамки среднесрочного прогнозирования (5–15 лет), да, впрочем, и в его пределах. Ответ на такие вопросы может дать сценарный анализ, предусматривающий альтернативные варианты, которые отражают воплощение той или иной точки зрения.

Не менее важной для средне- и краткосрочного анализа является проблема, которая почти не затронута в нашей статье — развитие и распространение технологий в международном масштабе. Этот процесс протекает неравномерно в разных странах и регионах, а одна из наиболее значимых тенденций глобального развития — способность формирующихся экономик «догнать» развитые страны в сфере ИКТ. Колоссальные инвестиции в ИиР в области био- и нанотехнологий

прослеживаются в некоторых развивающихся государствах, что, по мнению ряда экспертов, спровоцирует появление новых вызовов для развитых индустриальных стран — они могут отставать во многих областях, но при этом стать лидерами в создании инноваций. Нам еще предстоит увидеть, как соотношение между регулятивными и предпринимательскими культурами, а также связи между различными элементами национальных инновационных систем ведут к быстрому осознанию подобных вызовов.

При исследовании столь сложных явлений не имеет смысла рассчитывать на точность единичных прогнозов. Целесообразнее сочетать сценарный анализ, при котором систематически рассматривается ряд правдоподобных альтернативных вариантов, со «сканированием горизонтов» развития и изучением слабых сигналов — все это способствует раннему обнаружению того, насколько сильно проявляют себя те или иные ключевые элементы различных сценариев. F

Abicht L. (2009) Qualification Structure and Demand for Further Education of German Nanotechnology Companies / W. Luther and G. Bachmann (eds). Nano.DE-Report 2009: Status Quo of Nanotechnology in Germany. Bonn, Germany: Federal Ministry of Education and Research, Department of Nanomaterials, New Materials.

Barker B. (1990) Engineering Ceramics and High-temperature Superconductivity: Two Case Studies in the Innovation and Diffusion of New Materials. DPhil thesis. Manchester: PREST.

Bell D. (1964) Twelve Modes of Prediction — a Preliminary Sorting of Approaches in the Social Sciences. V. 93. Daedalus.

Beniger J. (1986) The Control Revolution: Technological and Economic Origins of the Information Society. Harvard University Press.

CEPIS (2006) Thinking Ahead on e-Skills for the ICT Industry in Europe. Brussels: Council of European Professional Informatics Societies, 2006. URL: http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/ict/files/thinkingaheadone-skillsineuropereport_en.pdf

Cohendet P., Ledoux M.J., Zuskovitch E. (1991) The Evolution of New Materials: A New Dynamic for Growth in Technology and Productivity: The Challenge for Economic Policy. Paris: OECD.

David P. A. (1991) Computer and Dynamo: the Modern Productivity Paradox in a Not-Too-Distant Mirror in Technology and Productivity. Paris: OECD.

Freeman C. (1974) The Economics of Industrial Innovation. Penguin, Harmondsworth.

Freeman C., Louca F. (2002) As Time Goes By: From the Industrial Revolutions to the Information Revolution. Oxford: Oxford University Press.

Freeman C., Perez C. (1988) Structural crises of adjustment, business cycles and investment behaviour / G. Dosi, C. Freeman, R. Nelson, G. Silverberg, G. Soete (eds.) // Technical Change and Economic Theory. London: Pinter. P. 38–66.

Green L., Jones B., Miles I. (2008) Skills for Innovation / INNOGRIPS Mini Study 03, Global Review of Innovation Intelligence and Policy Studies. URL: http://grips.proinno-europe.eu/knowledge_base/view/222/grips-mini-study-on-skills-for-innovation/

Harper T. (2008) From Micro to Nanoelectronics: Disruption, Convergence or Evolution? Emerging Markets Semiconductor Applications Technology Symposium. Singapore: Suntec. URL: http://www.semiconsingapore.org/ProgrammesandEvents/cms/groups/public/documents/web_content/ctr_023570.pdf

Hendry C. (1999) New Technology Industries. Skills Task Force Research Paper. London: DfEE.

Jorgenson D.W., Ho M.S., Stiroh K. J. (2008) A Retrospective Look at the U.S. Productivity Growth Resurgence Journal of Economic Perspectives. V. 22. № 1. P. 3–24.

Kaounides L.C. (1995) Advanced Materials. London: Pearson Professional.

Miles I. (1996) Information Technology & Information Society: Options for the Future. London: Economic & Social Research Council, PICT Policy Research Papers, 1988, № 2. Revised/reprinted as The Information Society: Competing Perspectives on the Social and Economic Implications of Information and Communications Technologies / W. Dutton (ed.). Information and Communications Technologies: Visions and Realities. Oxford: Oxford University Press.

Naisbitt J. (1982) Megatrends. Warner Books.

NIA Forecast of Emerging Technologies (2007). London: Nanotechnology Industries Association. URL: http://www.nanotechia.org/lib/tmp/cmsfiles/File/NIA_TechnologyForecast_June2007.pdf

Roco M.C. (2007) National Nanotechnology Initiative — Past, Present, Future / Goddard W., Brenner D., Lyshevski S., Iafra G. Handbook of Nanoscience, Engineering and Technology (2nd ed.). CRC Press (Taylor and Francis).

Rogers E.M. (1995) Diffusion of innovations (4th ed.). New York: Free Press.

Tether B., Mina A., Consoli D., Gagliardi D. (2005) A Literature Review on Skills and Innovation. How Does Successful Innovation Impact on the Demand for Skills and How Do Skills Drive Innovation? / CRIC report for the Department of Trade and Industry. London: Department of Trade and Industry.

The Handbook of Technology Foresight (2008) / L. Georghiou, Cassingena Harper J., M. Keenan, I. Miles, R. Popper (eds.). UK: Cheltenham and Northampton; USA: MA, Edward Elgar.

Utterback J.M. (1996) Mastering the Dynamics of Innovation. Harvard Business School Press.

Vanston J., Elliot L. (2003) Nanotechnology: A Technology Forecast. Technology Futures Inc. for Texas State Technology College, Waco, Texas.

Vernon R. (1966) International Investment and International Trade in the Product Cycle // Quarterly Journal of Economics. V. 80. P. 190–207.

Von Tunzelmann G.N. (1978) Steam Power and British Industrialization to 1860. Oxford: Clarendon Press.