

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ И ЭФФЕКТОВ МОДЕРНИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ОСНОВЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ¹

В статье рассмотрены вопросы, связанные с оценкой возможностей нанотехнологической модернизации промышленности, обозначены ограничивающие барьеры, представлена авторская типология уровней взаимодействия нанотехнологических разработок. Приведены авторские модели, позволяющие формализовать диффузию нанотехнологий — модель технологической динамики и модель нанотехнологической модернизации. Значительная часть статьи посвящена методологическим подходам к оценке синергетических эффектов развития nanoиндустрии, среди которых технологические дорожные карты, анализ внешних эффектов, опционная теория и динамический анализ структуры рынка.

В рамках дискуссии о направлениях модернизации российской промышленности можно увидеть разные точки зрения. Так, В. Л. Иноземцев полагает, что новая индустриализация — «это единственное, что мы можем» в реальной модернизации, и «в ближайшие 10–15 лет модернизация означает конкуренцию с европейскими странами по большинству промышленных позиций и очень резкое повышение энергоэффективности» [5, с. 13]. В. А. Цветков, исключив политическую компоненту, определяет модернизацию как «структурные, технологические и институциональные изменения во всей национальной экономике, направленные на повышение ее глобальной конкурентоспособности» [9, с. 17]. Но в то же время реалист В. А. Цветков приоритетным направлением, отправной точкой модернизации российской экономики считает модернизацию добывающей промышленности, прежде всего — топливно-энергетического комплекса. От него потянется цепочка требований к технологическому перевооружению традиционной промышленности и развитию космонавтики.

Вполне возможно, что отказ от инновационной мифологии и воздушных замков поставит лошадь впереди телеги. С В. А. Цветковым в этом контексте солидарен К. Рогов: «Фактически потерпев неудачу на традиционных путях реформирования экономики и общества, российские власти ищут все более экзотические направления «прорыва» в обход здравого смысла и чужого опыта» [7]. Ориентируясь на миф о «естественных преимуществах» в виде относительно высоких запасов углеводородов, нынешнее руководство страны не спешит с созданием институциональных условий развития креативной экономики, основанной на стимулировании творчества в науке, технологическом предпринимательстве и защите творцов от чиновничьих «кошмаров», рейдерства и полицейского беспредела.

На наш взгляд, не следует относить к экзотике бурно растущую (в передовых странах) отрасль nanoиндустрии. Являясь закономерным результатом развития естественных наук с выходом их приложений на наноуровень и все более обостряющейся потребности мирового сообщества в новом качестве медицинского и индустриального сервиса, энергообеспечения и продовольственной безопасности, нанотехнологический прорыв становится обыденным делом государства и бизнеса, ключевым направлением технологической модернизации.

Наноразработки ведутся практически во всех отраслях промышленности, поскольку их применение способно изменить свойства традиционной продукции, а значит, сделать ее более конкурентоспособной. Бурное развитие нанотехнологий в скором времени кардинально изменит облик современного мира. Появятся новые отрасли экономики, исчезнут устаревшие производства, произойдет новое перераспределение влияния между странами и регионами. Активное использование нанотехнологий в совокупности с автокаталитическим ростом объема инвестиций в данный сектор исследований способно привести к существенным социально-экономическим изменениям, оценить которые достаточно сложно.

¹ Статья подготовлена при финансовой поддержке УрО РАН 09-П-36-2001 «Формирование стратегических приоритетов инновационных преобразований...» Программы Президиума РАН № 29 и гранта РФФИ № 10-06-00335-а «Принципы и механизмы влияния нанотехнологий на инновационно-технологическую динамику».

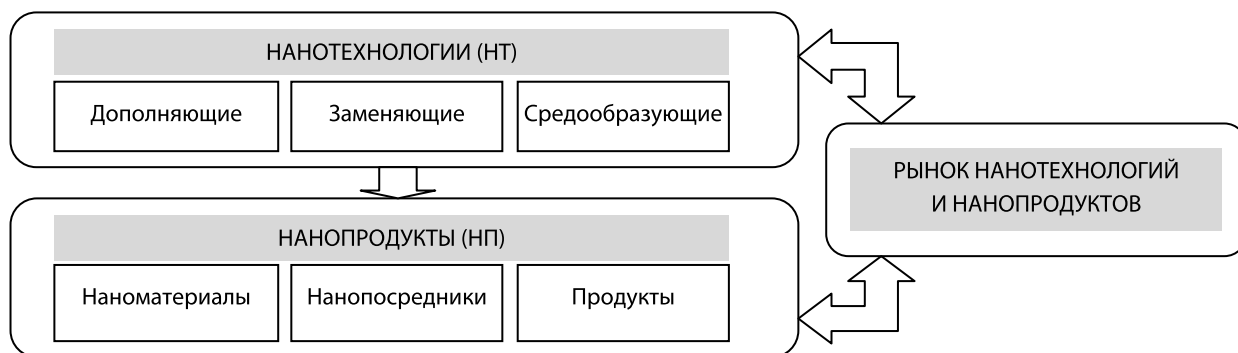


Рис. 1. Типология уровней взаимодействия нанотехнологических разработок

Вместе с тем, говоря о развитии наноиндустрии в России, нельзя не остановиться на ограничивающих барьерах. Российская специфика накладывает свой отпечаток на успешность процесса развития наноиндустрии и структуру барьеров, мешающих этому процессу. Выделяются обычно две группы барьеров: системные и специфические [9]. Системные связаны с несовершенной политической структурой власти, коррупцией, отсутствием нормальных (и выполняемых) правил, специфические — с отсутствием постановки задач от промышленности. «В условиях неопределенности состава потребителей и объема потребности вывод нанотехнологии сразу в массовое производство с целью обеспечения приемлемой (конкурентоспособной) цены весьма рискован» [9, с. 285]. С. Ю. Глазьев добавляет к специфическим барьерам «невнедрения» нанотехнологий в России еще и убогий и негибкий финансовый механизм [2]. К этому перечню можно добавить отсутствие инструментов моделирования процессов диффузии и эффектов развития нанотехнологий.

Основной проблемой оценки как барьеров, так и эффектов развития нанотехнологий является определение того, что именно следует относить к нанотехнологиям. В основном нанотехнологии применяются при изготовлении различных материалов, веществ с определенными заданными свойствами, которые востребованы в том или ином виде деятельности. В то же время совсем небольшая доля нанотехнологий позволяет создавать принципиально новые продукты. Поэтому перед аналитиками стоит сложная задача — определить, что относить к рынку нано: а) материалы; б) промежуточные продукты; в) конечные продукты с применением нанотехнологий.

Одновременно с этим сам рынок нанотехнологий необходимо разделить на две части: про-

рывные технологии, позволяющие создавать принципиально новые продукты и технологии, используемые для улучшения потребительских свойств существующих продуктов. По оценке экспертов, нанотехнологии позволят создать принципиально новых продуктов не более 5% от всего объема рынка конечных продуктов с применением нано к 2015 г., а в остальных 95% нанотехнологии реально составят лишь определенную долю в стоимости конечной продукции. Это связано с тем, что данные технологии применяются в уже сформировавшихся отраслях, где существуют огромные рыночные барьеры входа, которые не удастся обойти лишь разработкой новой технологии.

При таком детальном рассмотрении рынка нанотехнологий в Институте экономики УрО РАН была предложена новая типология уровней взаимодействия нанотехнологических разработок (далее — НТ) и действующих промышленных систем, учитывающая характер, направление (отрицательное/положительное) и глубину их взаимодействия. Направление и характер взаимодействия определяют необходимую материальную и финансовую поддержку для распространения НТ. Выделены три типа функций нанотехнологических разработок, выполняемых научными организациями и промышленными предприятиями: а) дополнение (нанотехнологические разработки в виде новых покрытий, смазок, добавок и т. д.); б) замещение нанотехнологии (новые наноматериалы, устройства, системы); в) средообразование (производство новых продуктов для новых рынков) (рис. 1). Построена матрица взаимосвязи уровней взаимодействия НТ и типов НТ, согласно которой можно классифицировать нанотехнологические проекты. В соответствии с матрицей дана оценка реальным проектам нанотехнологических разработок, поддерживаемых (субсидируе-

мых) из областного бюджета Свердловской области в 2010 г. Более половины всех проектов (53,8% по объему финансирования) сосредоточено на поддержке исследований и разработок наноматериалов; всего лишь 19,9% средств (4 проекта) направлено на организацию производства конечных продуктов нанотехнологических разработок.

Предложенная типология уровней взаимодействия НТ легла в основу модели технологической динамики, в которую введена переменная, характеризующая восприятие НТ существующими производственными технологиями. Скорость распространения НТ представляет собой разницу двух величин. Первая из них выражает влияние на скорость распространения двух главных факторов (соответствует простой логистической модели): 1) стремление предприятий, разрабатывающих НТ, к их распространению в возможно больших масштабах, что согласуется с законами массового производства; 2) влияние спросовых ограничений, которые выражаются в виде разности между потребностью в конечной продукции с использованием НТ и уровнем ее удовлетворения за счет продукции с использованием существующих технологий. Вторая величина отражает ту часть продукции НТ, которая в силу различных причин отторгается, вследствие чего снижается прирост предложения продукции НТ на рынке. Таким образом, модель имеет вид:

$$\frac{dT}{dt} = gT(P - kT) - \beta T, \quad (1)$$

где P — объем производства продукции с использованием всех технологий (валовой продукт промышленности); T — объем производства продукции с использованием НТ; $(P - kT)$ — объем производства продукции с использованием традиционных технологий; g — темп роста производства продукции с использованием НТ; k — интенсивность внедрения НТ; β — коэффициент взаимодействия НТ с традиционными технологиями; t — время.

Варьирование значений коэффициента β позволяет строить модели взаимодействия НТ и традиционных технологий: отталкивания (сопротивления); нейтрального (непересекающегося) поведения; слабого взаимодействия (привлекательность, включенность отдельным элементом); мультифакторной комплементарности (сцепление несколькими элементами, взаимодей-

полнение по нескольким элементам); синергетического взаимодействия (получение эффекта целого, выход взаимодействия на качественно иной уровень); симбиотического перехода (неразрывное присутствие НТ в действующей системе, превращение в нанотехнологическую систему).

Однако эта достаточно логичная модель может быть использована лишь для методологического анализа технологической динамики, на практике взаимодействие НТ и традиционных отраслей промышленности гораздо сложнее. Поскольку технологический уклад — это макроэкономический воспроизводственный контур, охватывающий все стадии переработки ресурсов, то НТ могут внедряться в технологическую цепочку на любом переделе, существенно изменяя конечный продукт. При этом развитие НТ может сдерживаться ограничениями, накладываемыми неготовностью, отторжением, информационным дефицитом.

Кроме того, чисто технологические особенности каждой НТ задают характеристики ее индивидуального жизненного цикла, в том числе и его продолжительности. В этой связи была разработана модель нанотехнологической модернизации.

Обозначим через x_1 некую совокупность, характеризующую наноиндустрию, а через x_2 — совокупность, характеризующую существующие отрасли промышленности. Взаимодействия между указанными совокупностями могут быть как положительные, так и отрицательные. Различные варианты положительных либо отрицательных взаимодействий будем считать модернизацией. Динамическое взаимодействие двух совокупностей может быть представлено в виде двух уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = c_1 x_1 - a_{11} x_1^2 + a_{12} x_1 x_2 \\ \frac{dx_2}{dt} = c_2 x_2 - a_{22} x_2^2 + a_{21} x_1 x_2, \end{cases} \quad (2)$$

где c_1, c_2 — коэффициенты, характеризующие развитие отраслей x_1 и x_2 , значения которых могут принимать значения ≥ 1 ; a_{11}, a_{22} — коэффициенты, характеризующие самоограничение роста, связанное с внутриотраслевой конкуренцией; a_{12}, a_{21} — коэффициенты, характеризующие взаимодействия отраслей x_1 и x_2 .

Варианты взаимодействия nanoиндустрии и существующих традиционных отраслей промышленности могут быть следующие:

- 1) нейтральность при $a_{12} = 0$ и $a_{21} = 0$;
- 2) комплементарность при $a_{12} > 0$ и $a_{21} > 0$;
- 3) отталкивание при $a_{12} < 0$ и $a_{21} < 0$;
- 4) слабое взаимодействие при $a_{12} > 0$ и $a_{21} = 0$;
- 5) вытеснение при $a_{12} > 0$ и $a_{21} < 0$;
- 6) пассивное сопротивление при $a_{12} = 0$ и $a_{21} < 0$.

Таким образом, нанотехнологической модернизацией можно считать только второй и четвертый варианты, то есть комплементарность и слабое взаимодействие.

Теперь обратимся непосредственно к методологическим подходам оценки синергетических эффектов для нанотехнологий. Применение синергетического подхода для анализа социально-экономических последствий научно-технического прогресса становится в последнее время особенно востребованным. В рамках синергетических представлений эволюция любой экономико-технологической системы представляет собой качественное изменение ее структуры и функционирования за счет кооперативного взаимодействия ее компонентов. С этими закономерностями саморазвития системы связаны синергетические эффекты. Рассмотрим синергетические эффекты развития nanoиндустрии (рис. 2). По знаку (направленности) эффекты могут быть как положительные, так и отрицательные. При этом синергетические эффекты могут носить действительный, потенциальный и нереализованный характер.

Синергетические эффекты развития nanoиндустрии в виду их многоплановости можно оценить различными подходами, основные из которых представлены на рис. 3.

1. Технологические дорожные карты и модифицированный межотраслевой баланс. Основой оценки синергетического эффекта развития nanoиндустрии являются технологические дорожные карты, возможные сценарии которых отражаются в модифицированном межотраслевом балансе.

Дорожная карта — это наглядное представление пошагового сценария развития отдельного продукта, класса продуктов, некоторой технологии, группы смежных технологий, целой отрасли или индустрии. Дорожное картирование увязывает между собой видение, стратегию и

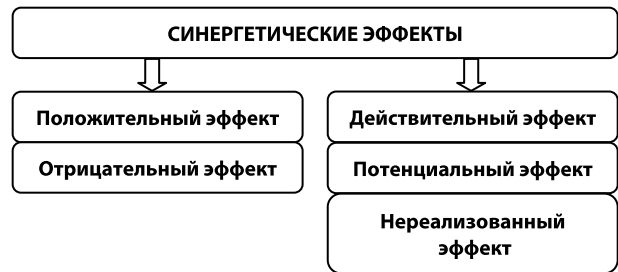


Рис. 2. Типология синергетических эффектов развития nanoиндустрии

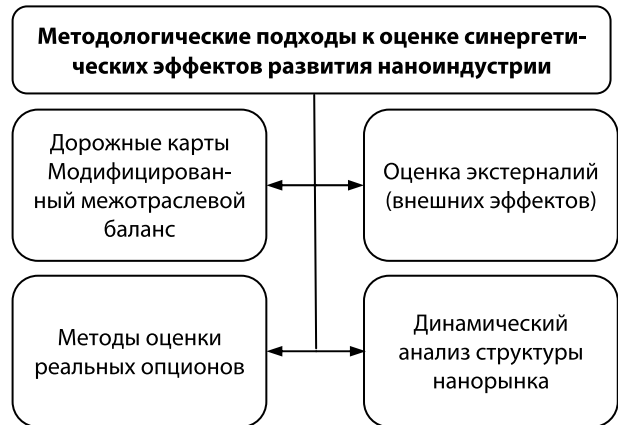


Рис. 3. Методологические подходы к оценке синергетических эффектов развития nanoиндустрии

план развития объекта и выстраивает во времени основные шаги этого процесса по принципу «прошлое — настоящее — будущее».

Использование дорожных карт для оценки эффектов развития nanoиндустрии позволит просматривать не только вероятные сценарии, но и их потенциальную рентабельность, а также выбирать оптимальные пути с точки зрения ресурсной затратности и социально-экономической, бюджетной и экологической эффективности нанотехнологий.

Поскольку нанотехнологии относятся к категории тех инновационных изменений в производстве, качественный эффект которых недостаточно понятен и подвержен множеству бифуркаций на небольших интервалах времени, то при оценке синергетических эффектов важно учитывать возможность гибкого реагирования на возможные изменения. В этой связи дорожная технологическая карта является интерактивным инструментом, позволяющим немедленно вносить какие-либо изменения и уточнять сценарии развития nanoиндустрии.

Определенные в технологической карте показатели эффективности производства и инвестирования в nanoиндустрию, а также изменения количественных характеристик производства

(такие как материало-, трудо- и энергоемкость производства) продукции с использованием нанотехнологий используются в модифицированном межотраслевом балансе (МОБ). Модификация МОБ связана с выделением доли конечной нанопродукции и доли наноматериалов и нанопосредников в промежуточном потреблении в матрице прямых затрат. В этом случае логика расчетов синергетических эффектов сводится к прогнозированию матрицы коэффициентов прямых затрат. Это позволит четко выявить и оценить целевой характер структуры экономики и происходящие в ней сдвиги, связанные с наноиндустрией.

Модифицированный МОБ дает возможность понять, как именно изменится структура производственных связей при включении в нее наноиндустрии в тех условиях, когда совокупное производство в состоянии удовлетворять конечный спрос даже несмотря на то, что в долгосрочной перспективе структура спроса может существенно изменяться.

В настоящее время дорожных карт использования нанотехнологий не так много. Для примера можно привести дорожную карту «Использование нанотехнологий в каталитических процессах нефтепереработки», разработанную ОАО «РОСНАНО» и Государственным университетом — Высшей школой экономики [4].

Обобщающий документ отражает многоуровневую систему стратегического развития предметной области в рамках единой временной шкалы и содержит показатели экономической эффективности перспективных технологий и продуктов, обладающих высоким потенциалом спроса и привлекательными потребительскими свойствами. Дорожная карта разработана на основе данных экспертного исследования, а также исследования российских и зарубежных аналитических материалов.

Визуальное представление дорожной карты включает четыре основных слоя: 1) научно-технологическое развитие; 2) технологии приготовления катализаторов; 3) процессы и катализаторы (комплексы); 4) рынки катализаторов. В первом разделе показаны:

1) технологическое оборудование или его комплексы, которые требуется закупить за рубежом для развития производства катализаторов в России;

2) перспективные направления исследований и разработок, которые рекомендуется про-

вести в России в пределах горизонта дорожной карты (до 2030 г.) для развития цикла разработки и производства российских катализаторов.

Во втором разделе представлены основные технологии приготовления катализаторов. Для каждой из рассматриваемых в карте технологий приведены оценки текущих значений ее основных технико-экономических характеристик, а также прогноз динамики этих характеристик в пределах горизонта дорожной карты. Для каждой технологии описаны существующие на практике или перспективные технологические линии по приготовлению катализаторов.

В третьем разделе представлены основные типы установок для проведения каталитического процесса, а также типы катализаторов, используемых в данных установках. Признаком для включения конкретного комплекса «процесс — катализатор» в данный блок является существенная роль нанотехнологий в проведении каталитического процесса, осуществляемого в этом комплексе. В четвертом разделе даны оценки и прогноз значений основных показателей развития рынка катализаторов на сегодняшний день и в пределах горизонта дорожной карты. Также дана оценка предельно достижимых стратегических целей российских производителей катализаторов, которых они могут достичь в указанные периоды времени.

2. Оценка внешних эффектов (экстерналий). Поскольку синергетические эффекты обусловлены дополнительными выгодами или издержками социально-экономической системы в связи с изменением ее структуры (в нашем случае — в связи с появлением в структуре экономики наноиндустрии), то указанные эффекты могут быть оценены через положительные или отрицательные внешние эффекты (экстерналии).

В данном случае синергетический эффект развития наноиндустрии может быть определен как неопосредованный рынком (то есть не отраженный в ценах) количественный эффект для субъектов, не участвующих в создании или потреблении нанотехнологий. Поскольку общественные (социальные и экологические) эффекты от развития нанотехнологий непредсказуемы, то логично предположить как положительное, так и отрицательное их влияние на социально-экономическую систему в целом.

Если для примера предположить ситуацию наличия положительного внешнего эффекта развития нанотехнологий в медицине, то очевидно,

что медицинская нанопродукция (лекарственные средства, диагностическое оборудование и т. п.) производится и покупается в меньшем объеме, по сравнению с эффективным, то есть имеет место недопроизводство товаров и услуг. В этой связи увеличение объема производства медицинской техники с использованием нанотехнологий увеличивает предельные издержки производства, и, следовательно, продажную цену. Поэтому получатели внешней полезности (а полезность в данном случае заключается в ранней диагностике ряда болезней, снижении рисков смертности и увеличении продолжительности жизни), должны взять на себя часть расходов на производство. Согласно теории общественных благ это достигается путем введения корректирующих субсидий, выделяемых государством производителям благ с положительным внешним эффектом, для того чтобы приблизить предельные частные выгоды к предельным общественным.

Однако использование данного, на первый взгляд, логичного подхода затруднено в связи с тем, что, во-первых, в реальной практике довольно трудно точно измерить предельные издержки и выгоды; во-вторых, размеры ущерба и выгод определяются в ходе юридических и политических дискуссий весьма приблизительно; в-третьих, для обеспечения эффективности корректирующие налоги и субсидии должны быть очень высокими и они отнюдь не всегда достигают поставленной цели.

3. Методы оценки реальных опционов. Для оценки синергетических эффектов внедрения нанотехнологий может быть использована опционная теория. Рассмотрение эффектов нанотехнологических проектов с точки зрения концепции реальных опционов является поиском дополнительных возможностей, которые не могут быть учтены при классическом анализе. Корень этих возможностей кроется в недостатках классических методик, которые предполагают пассивное управление проектом, т.е. использование шаблона действий, заложенного на начальной стадии проекта, и не учитывают возникающих синергетических эффектов.

В целом с помощью опционной теории можно выделить две группы дополнительных возможностей применительно к нанотехнологическим проектам, которые можно количественно оценить. Первая из них — возможности изменения параметров нанотехнологического

проекта с течением времени. Это может быть расширение или сокращение проекта при изменении рыночной конъюнктуры, изменение источников сырья или отказ от реализации проекта после получения дополнительной информации. Вторая группа возможностей характеризует внешнюю сторону нанотехнологического проекта, т.е. ситуацию, когда выполнение одного проекта делает возможным другой проект, который был бы невозможен без завершения первого.

Для оценки синергетических эффектов нанотехнологического проекта могут быть использованные такие опционы, как опцион на выбор времени реализации проекта, опцион на отказ от проекта, опцион на осуществление последовательных инвестиций, опцион на расширение, опцион на сокращение, опцион на приостановку.

Таким образом, следует отметить, что реальные опционы могут быть использованы в качестве важного инструмента при оценке эффектов развития нанотехнологий на всех стадиях от принятия решения по осуществлению инвестиций до завершения проекта. Теория реальных опционов достаточно полно описывает области возможного увеличения синергетических эффектов нанотехнологических проектов, но все же главная ее практическая ценность состоит в том, что реальные опционы позволяют количественно оценить эффекты, ранее оцениваемые лишь качественно.

4. Динамический анализ структуры нанорынка. Для оценки синергетических эффектов могут применяться имитационные модели. В Институте экономики УрО РАН разработана имитационная динамическая модель взаимного влияния внедрения нанотехнологий на социально-экономическое развитие отраслей других технологических укладов [2].

Все промышленные предприятия экономической системы, входящие в воспроизводственный цикл, были разделены на три группы. Пусть $x(t)$ — число промышленных предприятий, которые в силу различных причин отказываются от нанотехнологической модернизации (ПС-1), $y(t)$ — число промышленных предприятий, которые заинтересованы в такой модернизации (ПС-2) и рассматривают варианты нанотехнологических решений, $z(t)$ — число предприятий, соответствующих типу ПС-3. Динамика продвижения нанотехнологий описывается такой системой уравнений:

$$\begin{cases} \dot{z}(t) = \alpha zy - (\gamma_1 + \gamma_2)z^2 \\ \dot{y}(t) = -\alpha zy - \beta y + \gamma_1 z^2 + \delta x \\ \dot{x}(t) = \beta y + \gamma_2 z^2 - \delta x, \end{cases} \quad (3)$$

здесь α — частота контактов предприятий z и y ; $\gamma = (\gamma_1 + \gamma_2)$ — коэффициент конкуренции среди предприятий z ; β и δ — частота случаев изменения предпочтения в отношении нанотехнологической модернизации.

Анализ численных решений предложенной системы нелинейных уравнений показал, что воспроизводственная система, включающая в себя различные по уровню восприятия нанотехнологической модернизации типы промышленных систем, является неустойчивой к изменению параметров. Система имеет стационарное решение только при сравнительно небольших значениях числа предприятий, готовых к нанотехнологической модернизации, и предприятий, предлагающих нанорешения.

Качественная и количественная оценка синергетических эффектов развития наноиндустрии позволяет увидеть реальные перспективы нанотехнологической модернизации и выработать те меры государственной научно-технической политики, которые позволят поставить и достичь адекватных целей развития нанотехнологий в России без политических амбиций. Анализ эффектов нанотехнологий в рамках различных подходов дает возможность определить реальные рыночные ниши, учесть существенную разницу в позициях стран и регионов в конкурентной борьбе за первенство в разработке и внед-

рении нанотехнологий, а это, в свою очередь, в значительной степени обуславливает общие принципы и конкретные механизмы политики в области нанотехнологий.

Список источников

1. Азоев Г. Л. Рынок нано. От нанотехнологий — к нанопродуктам. М.: Бином, 2011. 319 с.
2. Глазьев С. Ю. Уроки очередной российской революции: крах либеральной утопии и шанс на «экономическое чудо». М.: Издательский дом «Экономическая газета», 2011. 576 с.
3. Гребенкин А. В., Акбердина В. В. Имитационное моделирование условий «нанотехнологического» поведения промышленных систем // Экономика региона. 2010. №3. С. 223-228.
4. Дорожные карты использования нанотехнологий в каталитических процессах нефтепереработки. М.: Роснано, 2009.
5. Иноземцев В. Л. Будущее России — в новой индустриализации. Интервью С. Губанова // Экономист. 2010. №11. С. 3-15
6. Макмиллан Л. Г. Опционы как стратегическое инвестирование. М.: Издательский дом «Евро», 2003. 1225 с.
7. Рогов К. Контрмодернизация // Новая газета. 2010. 26 апр.
8. Романова О. А., Гребенкин А. В., Акбердина В. В. Концепция и моделирование экономико-технологической реальности региона // Проблемы прогнозирования. 2010. №1. С. 88-98.
9. Цветков В. А. Об отправной точке неоиндустриальной модернизации — Экономист. 2010. №11, с. 16.
10. Шерер Ф., Росс Д. Структура отраслевых рынков : пер. с англ. М.: Инфра-М, 1997. VI, 698 с.
11. Albright R. E., Kappel T. A. Roadmapping in the Corporation // Research Technology Management. 2003. 42(2). PP. 31-40.

УДК 330.3

ключевые слова: модернизация, нанотехнологии, синергетические эффекты