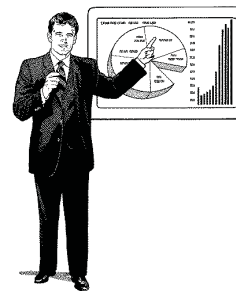


# АНАЛИТИЧЕСКИЕ ПРОГНОЗЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ



**О.Н. ПОДДУБНАЯ**

---

## ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РЫНКА ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ

---

Переход мировой экономики в начале XXI в. на новую ступень научно-технического развития, связанный с масштабным использованием высоких технологий, потребовал от теоретиков и практиков экономической науки особого внимания к различным аспектам деятельности секторов экономики и их субъектов, занимающихся производством и реализацией наукоемкой и высокотехнологичной продукции. В современной экономике происходят реальные процессы развития высоких технологий, сопровождаемые, в том числе, ростом отраслей информационного производства, что свидетельствует о ее качественном перерождении:

знания становятся наиболее существенным ресурсом производства, индустрия высоких технологий фактически исполняет роль первичного сектора.

Отличительной чертой отраслей высокотехнологичного производства является их наукоемкость и большой объем производимых знаний. В некоторых публикациях современная мировая экономика характеризуется как «экономика знаний», «новая экономика», «инновационная экономика» [1–3], где знания выступают самостоятельным четвертым фактором производства.

Знания — специфический результат человеческой деятельности, о чем писали еще античные философы. Однако о знании как об особом роде продукте, имеющем самостоятельную ценность, значимость и коммерческий потенциал, исследователи заговорили не так давно [1]. П. Друкер отмечал, что знание в новом его понимании означает реальную полную силу, средство достижения социальных и экономических благ. Принято выделять основные свойства знания как особого ресурса: неисчерпаемость при потреблении; неделимость (поступив в распоряжение одного члена общества, оно доступно в полном объеме и другим членам общества за плату или без нее); редкость и уникальность. К тому же это — невзаимозаменяемый ресурс, обладающий возрастающей ценностью и доходностью. Уникальность знания состоит в том, что оно одновременно является и ресурсом, и фактором производства, и активом, и благом. Отдельно необходимо отметить свойство непрерывности процесса создания знания, т.е. объем знаний является непрерывной неубывающей функцией во времени.

---

*Олеся Николаевна ПОДДУБНАЯ, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры высшей математики Белорусского государственного экономического университета.*

В современной экономике знаний речь идет о формировании и развитии человеческого капитала, который выходит на первый план в обеспечении социально-экономического прогресса в XXI в. По данным Всемирного банка, в 192 странах на долю человеческого капитала приходится в среднем 64 % общего богатства, на долю физического капитала — 16, на долю природного капитала — 20. В Германии, Швеции, Японии удельный вес человеческого капитала достигает 80 % национального богатства [4]. Страны, сумевшие органично вписать инновационные ресурсы и знания в экономическую модель своего развития, достигают значительных успехов на мировом рынке, становятся лидерами экспорта образовательных услуг, приносящих немалые доходы. Необходимо также отметить направленность приобретенных и накопленных знаний на гуманизацию общества, увеличение доли в структуре общественного богатства внеэкономической составляющей, повышающей качество жизни (здоровье, экология, нация).

Глобальные изменения, происходящие в мировой экономике, обусловлены не только ускорением научно-технического прогресса, но и изменением характера инновационной деятельности. Из эпизодической она становится постоянной, предприятия отчетливее осознают, что успех на рынке все больше зависит от степени инновационной активности. При этом процесс создания, распространения и коммерциализации знаний осуществляется не отдельными субъектами (предприятиями, НИИ, вузами) самостоятельно, а всеми заинтересованными сторонами (посредниками, государством и пр.) совместно. Это обусловлено как возрастающей сложностью и масштабностью НИОКР, так и ужесточением конкуренции, турбулентностью внешней среды, высокими постоянными издержками создания знаний и низкими предельными издержками их распространения. Последнее означает, что генерация новых идей и их воплощение в новый продукт с последующим его выведением на рынок требуют очень больших временных и финансовых ресурсов. Развивать высокотехнологичное производство страна не может без собственных научных школ, основными приоритетами которых должны быть наращивание и повышение научного потенциала как конкретных профессиональных сообществ, так и общества в целом. Когда же новый высокотехнологичный продукт создан, т.е. когда идея доведена до стадии готового продукта, необходима масштабная коммерциализация, следует учитывать быструю изменчивость окружающей среды, неопределенность перспектив развития рынка и отрасли, быстрое технологическое старение продукции, динамичное появление на рынке технологий-конкурентов.

Современная экономическая теория научно-технического развития и инноваций была создана такими учеными, как Й. Шумпетер, Н.Д. Кондратьев, З. Гриличес, Й. Шумклер, Э. Мэнсфилд, Д. Сахал, С. Кузнец, Р. Нельсон, П. Нийкамп, Г. Менш, Дж. Мартино, Р. Фостер, Б. Твисс, Ю.Я. Яковец, Д.С. Львов, С.Ю. Глазьев, А.Г. Кругликов и др.

Безусловный интерес при анализе инновационного процесса представляют оценки (в том числе и количественные) не только материального продукта, созданного с использованием вновь полученных знаний, но и знаний, не нашедших воплощения в данном товаре. Как отмечают эксперты Организации экономического сотрудничества и развития, общепринятая классификация знаний на сегодняшний день отсутствует, но существуют различные авторские классификации знаний: по содержанию (Аристотель); по субъективному значению для познавшего (Ф. Махлуп, 1966); по принадлежности (М. Поланьи, 1966); по форме проявления (И. Нонака, Г. Такеучи, 1995); по характеру предназначения знания (П. Друкер, 1995); по способу формирования (В.Н. Гунин, В.П. Баранчев, В.А. Устинов, 2000); по характеру (Э. Брукинг, 2001) [5].

Как экономический ресурс знание должно иметь те формы выражения, в которых его можно использовать наряду с другими экономическими ресурсами (трудом, капиталом, землей и т.п.) в хозяйственной деятельности различных субъектов, т.е. необходима определенная сопряженность (соотношение)

между всеми ресурсами. Далеко не все из произведенных знаний могут и должны быть сиюминутно воплощены в товарах данной отрасли, создавая предпосылки для его коммерциализации как самостоятельного интеллектуального продукта. Поэтому результат любого высокотехнологичного производства можно разделить на две составляющие: непосредственно материальный продукт, который однозначно имеет стоимостную оценку, и множество дифференцированных продуктов, определяемые как знания. Оценка продуцируемых знаний в денежно-материальной форме — одна из основных проблем, возникающая при анализе и моделировании высокотехнологичных производств. С учетом специфики изучаемой проблемы знания условно разделены нами на 3 части: часть созданных знаний, воплощенная в товаре или услуге, имеющей натурально-вещественную форму; часть знаний, коммерциализированная как самостоятельный объект купли-продажи (законченный продукт — объект интеллектуальной собственности); часть знаний, иногда называемых в литературе теоретическим, или «чистым» знанием. Последняя составляющая особенно интересна и сложна для анализа, поскольку знание как особый воспроизводственный ресурс имеет свойство накапливаться. В то же время инвестор заинтересован в том, чтобы затраты на их создание были возмещены в текущем инвестиционном цикле появления высокотехнологичного товара, хотя реально это не всегда достижимо.

Наиболее формализованной ветвью современной экономической теории научно-технического развития является концепция диффузии инноваций, в основе которой лежит известное дифференциальное уравнение бельгийского математика П.-Ф. Верхульста, описывающее логистический рост [6, 41–48; 7, 36–40]. Это уравнение встречалось в работах Э. Мэнсфилда и описывало динамику роста количества инновационных фирм. Более широко оно использовано в работах Д. Сахала для описания процесса диффузии нововведений. Следует отметить, что в современной литературе описывается довольно большое количество моделей экономического роста, включающих факторы, научно-технического развития и рассказывающих, в том числе, о таком феномене, как накопление знаний. С 90-х гг. XX в. в экономической теории получили развитие модели с эндогенным научно-техническим прогрессом, среди которых наиболее известными являются модели, предложенные П. Ромером (1990) и К. Джонсом (1998). В этих моделях учитываются такие показатели, как знания, полученные в результате проведения НИОКР, человеческий капитал и технологии. Существенным вкладом в развитие динамических моделей в экономике являются работы В.М. Полтеровича и А.А. Хенкина (1988), А.Г. Кругликова (1991), С.Ю. Глазьева (1993), С.В. Дубовского (1998), В.М. Москвина (1998), Н.Е. Егоровой (2006), В.Л. Макарова (2009) и др. [8].

Настоящая статья продолжает исследования, начатые в [9], где при создании концептуальной модели инвестиционного цикла высокотехнологичного производства были определены ее параметры, отражающие наиболее существенные аспекты развития рынка высокотехнологичной продукции.

В качестве оценочного критерия инновационного потенциала и роста отраслей высоких технологий примем величину и динамику объемов реализованной продукции, созданной с использованием высоких технологий (емкость рынка). Данные показатели являются мерой материального продукта. Кроме того, в модели использованы аналогичные показатели объемов коммерческих сделок по торговле технологиями и услугами технического характера, которые, на наш взгляд, отражают возможную оценку продуцируемых знаний в данной отрасли как самостоятельного коммерческого продукта. Итак, нами в качестве наиболее общего показателя материального продукта выбрана емкость рынка, хотя совокупность факторов, описывающих материальный продукт, достаточно велика. Прочими, менее значимыми факторами, оказывающими в той или иной мере влияние на динамику развития рынка, на данном этапе создания модели мы пренебрегаем.

Одним из немаловажных факторов, определяющих состояние рынка, являются инвестиции. Из всех подходов к классификации инвестиций для нас особую значимость имеет деление инвестиций на амортизационные отчисления и чистые инвестиции (они и являются добавочными вложениями), а также на капитальные затраты и текущие.

Производство «чистого» знания компаниями высокотехнологического сектора будет включено в модель в качестве затратной компоненты. Рассматривая инвестиционный цикл, необходимо проводить определенные различия между текущими и капитальными инвестициями. В то же время особенности производства пятого и шестого технологических укладов таковы, что, по сути, большинство затрат являются капитальными, хотя формально отдельные расходы (например, зарплата работников научных и конструкторских подразделений, другие аналогичные выплаты) — текущие. Кроме того, далеко не все расходы в НИОКР оправдывают себя в текущем периоде — отдача от них может проявиться спустя некоторое время, а иногда даже они могут найти реализацию в других отраслях. Сами по себе капитальные инвестиции включают как расходы на создание «чистого» знания (по сути, затраты живого труда), так и материальную составляющую (овеществленный труд). Однако особенность высокотехнологического сектора состоит в том, что на фоне общих издержек расходы на оборудование могут быть очень незначительны (особенно это характерно для пятого технологического уклада: сферы информационных технологий, создание и управление базами данных и т.п.). Тем не менее в модели присутствуют как компонента затрат на «чистое» знание (расходы на НИОКР), так и материальная компонента, связанная с производством знаний опосредованно. При необходимости возможна дальнейшая дезагрегация инновационной составляющей: включение в модель внутренних и внешних затрат сектора на НИОКР, выделение среди капитальных вложений затрат на технологическое оборудование и инфраструктуру, в первую очередь — на информационные системы, влияющие на скорость обмена (и создания) знания. Этим аспектам будет уделено внимание в последующих работах.

Объем налоговых льгот, таможенных преференций, амортизационной политики и ряд других факторов представлены в модели как внешние управляющие воздействия.

Рассматривая суть высокотехнологического производства с точки зрения создания и коммерциализации знаний, необходимо установить причинно-следственные связи, объясняющие динамику рынков инновационных продуктов. Для нас в первую очередь интерес представляют сегменты рынка высокотехнологичной продукции, при производстве и продвижении которой к потребителю процесс создания материального продукта и нового знания, по сути, непрерывен во времени.

На этапе логического дизайна разрабатываемой модели необходимо подробно описать взаимосвязи между экономическими факторами, опираясь на различные гипотезы, теории и содержательный анализ собственных посылок. В частности, предполагаем, что темп роста емкости рынка высокотехнологичной продукции линейно и аддитивно зависит:

- от объема уже реализованной на рынке высокотехнологичной продукции. Данное предположение базируется на концепции жизненного цикла (ЖЦ) товара и рынка [7, 36–40], объясняющей различную скорость роста (сокращения) рынка в зависимости от стадии его ЖЦ (фактически — от реакции потребителей на товар, т.е. от вида и характера спроса);
- объема реализованных объектов интеллектуальной собственности (ОИС). По нашему мнению, данный параметр опосредованно выражает интенсивность производимых знаний в данной отрасли. Непрерывный процесс создания знаний порождает в некоторой степени их избыток у фирм-новаторов, которые оказываются либо не в состоянии воплотить новые знания в своих материальных продуктах в приемлемый для их разработки срок, либо, нао-

борот, сознательно делают выбор в пользу новых разработок, коммерциализируя тот интеллектуальный продукт, который пока еще востребован рынком. Поступая от разработчика в распоряжение других субъектов рынка, ОИС стимулируют до определенного предела рост производства и продаж высокотехнологичных продуктов в натурально-вещественной форме. В зависимости от отрасли и степени готовности фирм-последователей воспринять новое знание, полученное от фирм-новаторов, характер взаимосвязи между объемом реализуемых ОИС и создаваемых на их основе инновационных продуктов может быть различным. Необходимо отметить, что влияние данного фактора на скорость роста объемов продаж на конкретном сегменте товарного рынка лежит не только на стороне предложения, но и на стороне спроса, поскольку может стимулировать спрос на отдельные компоненты высокотехнологичной продукции, которые используются при создании товара на основе данных ОИС;

- объема чистых инвестиций. Влияние данного фактора на скорость роста рынка вполне очевидно, тем не менее, необходимо указать на то, что данный параметр является затратным. В модели используются две компоненты инвестиций — капитальные затраты на приобретение оборудования и затраты на НИОКР. Несмотря на то, что чисто механистически затраты на НИОКР можно подразделить, в свою очередь, на текущие и капитальные, с точки зрения создания знаний все они чаще являются капитальными, поскольку возвращают свою стоимость в течение некоторого периода, нескольких производственных циклов. Особо следует выделить затраты на разработки, не нашедшие применения в текущем периоде в натурально-вещественном продукте либо коммерческих ОИС. Инвесторы, чтобы поддерживать высокий уровень процесса производства новых знаний, вынуждены возмещать указанные расходы. Источниками их финансирования в корпорациях, имеющих собственные крупные исследовательские подразделения, чаще всего является монопольная цена реализуемых на рынке товаров и ОИС;

- характера управленческих воздействий. Основными управленческими компонентами являются объем налоговых льгот, полученных субъектами данной отрасли при производстве высокотехнологичной продукции, объем таможенных преференций при импорте оборудования и ОИС, амортизационная политика в данной отрасли (численное выражение последний фактор находит в нормах амортизации оборудования и нематериальных активов при производстве высокотехнологичной продукции и ОИС).

Полагаем также, что имеет место линейная аддитивная зависимость темпа роста объемов сделок с ОИС:

от объемов реализованной высокотехнологичной продукции. Данная гипотеза базируется на том, что увеличение емкости рынка стимулирует приток его новых участников, так называемых фирм-последователей, которые и выступают основными покупателями ОИС;

объемов реализованных ОИС. Абстрагируясь от специфики ОИС и воспринимая их как объекты купли-продажи, подверженные определенным этапам ЖЦ, полагаем, что скорость продаж ОИС определяется в немалой степени емкостью этого сегмента рынка, хотя границы насыщения таких рынков более размыты;

объемов чистых инвестиций. Поскольку ОИС производятся в отрасли наравне и даже опережая производство высокотехнологичного продукта в натурально-вещественной форме, то и указанная взаимосвязь обусловлена теми же причинами;

характера управленческих воздействий. Управленческие факторы являются экзогенными применительно к создаваемой модели, их влияние на темп роста объема ОИС идентично характеру их влияния на темпы роста объема материального продукта.

На этапе физического дизайна модели необходимо, во-первых, формализовать все взаимосвязи между экономическими факторами, а во-вторых, в зави-



симости от поставленной задачи определить способ численного решения модели. Переходя непосредственно к ее математическому описанию, введем следующие обозначения параметров, задаваемых функциями от временного аргумента, выраженные в каждый момент в денежных единицах:  $v_1(t)$  — объем выпускаемых товаров и услуг;  $v_2(t)$  — объем коммерческих сделок по торговле ОИС;  $i_1(t)$  — общие затраты сектора рынка высокотехнологичных производств (за исключением затрат на НИОКР);  $i_2(t)$  — инвестиции в новые знания (затраты на НИОКР);  $u_1(t)$  — объем налоговых льгот и таможенных преференций;  $u_2(t)$  — объем амортизационных отчислений;  $u_3(t)$  — уровень патентно-правовой защиты авторских прав.

Итак, с учетом установленных взаимосвязей и введенных обозначений при изучении динамики рынка высокотехнологичной продукции положим в основу систему линейных дифференциальных уравнений следующего вида:

$$\begin{aligned} \frac{dv_1(t)}{dt} &= a_{11}v_1(t) + a_{12}v_2(t) + b_{11}i_1(t) + b_{12}i_2(t) + c_{11}u_1(t) + c_{12}u_2(t) + c_{13}u_3(t); \\ \frac{dv_2(t)}{dt} &= a_{21}v_1(t) + a_{22}v_2(t) + b_{21}i_1(t) + b_{22}i_2(t) + c_{21}u_1(t) + c_{22}u_2(t) + c_{23}u_3(t); \end{aligned} \quad (1)$$

где  $t \geq h$ ,  $h = \text{const}$ .

Соответствующие элементы матриц  $A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^{2 \times 2}$ ,

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^{2 \times 2}, \quad B = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^{2 \times 2}, \quad C = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^{2 \times 2}$$

задают вес каждого компонента отрасли, инвестиционной программы, управленческой политики в процессе формирования рынка высокотехнологичной продукции, описываемом предложенной системой линейных дифференциальных уравнений.

В момент времени  $t$  от 0 до  $h$  осуществляются технологические инновации, закладывающие основу будущего рынка. На наш взгляд, на формирующихся рынках высокотехнологичной продукции первоначальный спрос чаще всего присутствует в неявном виде — в ожидании технических и технологических решений, способных его удовлетворить. В момент времени  $t = h$  рынок «оживает» — происходит так называемая кристаллизация рынка, т.е. появление продукта, который в состоянии удовлетворить спрос, что с математической точки зрения для системы (1) описывается начальным условием:  $v_1(h) = v_1$ ,  $v_2(h) = v_2$ .

Таким образом, в статье предложены методологические подходы построения кинетической модели с сосредоточенными параметрами, отражающей зависимость темпа роста емкости изучаемого рынка высокотехнологичной продукции от самой емкости рынка материального продукта и ОИС, объема инвестиционных вложений в развитие данной отрасли, а также от ряда управляющих воздействий (объема налоговых льгот, таможенных преференций, амортизационной политики и ряда других факторов).

Однако недостатком этой модели является тот факт, что осуществляемая инвестиционная политика рассматривается в ней как элемент управляющего внешнего воздействия. В то же время, как было мотивированно предложено в [9, 30–38], инвестиции в развитие сектора высокотехнологичного производства обусловлены как емкостью самого рынка, так и объемом инвестиций в предыдущий период, а также проводимой управленческой политикой. Таким образом, анализируя результаты данной статьи и [9], логично предположить, что влияние объемов рынка высокотехнологичной продукции и инвестиций в данный сектор взаимно и может быть описано совокупностью дифференциальных уравнений (1) и алгебраических уравнений, предложенных в [9, 37]. Об экономической целесообразности и о степени разработанности математического аппарата, используемого для изучения таких агрегированных дифференциально-алгебраических систем, речь пойдет в другой работе.

---

### Литература и электронные публикации в Интернете

1. *Machlup, F.* Knowledge and Knowledge Production Series: Knowledge, Its Creation, Distribution, and Economics Significance / F. Machlup. — Princeton: Princeton University Press, 1980. — Vol. 1.
2. *Макаров, В.Л.* Обзор математических моделей экономики с инновациями / В.Л. Макаров // Экономика и математ. методы. — 2009. — Т. 45. — № 1. — С. 3–14.
3. *Макаров, В.Л.* CGE модель экономики знаний / В.Л. Макаров, А.Р. Бахтизин, Н.В. Бахтизина. — М., 2007. — 65 с. — (Препринт / Рос. акад. наук, Центр. экон.-матем. ин-т; № WP/2007/223).
4. The World Bank [Electronic resource]. — Mode of access: <http://www.worldbank.org>. — Date of access: 22.09. 2009.
5. OECD Information Technology Outlook 2008 // Organization for economic cooperation and development [Electronic resource]. — Mode of access: [http://www.oecd.org/document/20/0,3343,en\\_2649\\_33757\\_41892820\\_1\\_1\\_1\\_1,00.html](http://www.oecd.org/document/20/0,3343,en_2649_33757_41892820_1_1_1_1,00.html). — Date of access: 20.09. 2009.
6. *Московкин, В.* Основы концепции диффузии инноваций / В. Московкин // БизнесИнформ, X. — 1998. — № 17–18.
7. *Московкин, В.* Математические основы концепции жизненного цикла в экономике / В. Московкин, В. Михайлов // БизнесИнформ. — 2002. — № 11–12.
8. *Gandolfo, G.* Economic Dynamics / G. Gandolfo. — Heidelberg: Springer-Verlag Berlin, 1997.
9. *Поддубная, О.Н.* Подходы к моделированию инвестиционного цикла высокотехнологичных производств / О.Н. Поддубная, В.Ю. Шутилин // Весн. Беларус. дзярж. экан. ун-та. — 2009. — № 4.

## К.А. ЗАБРОДСКАЯ, Т.А. ТКАЛИЧ

---

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИФФУЗИИ ИННОВАЦИЙ С УЧЕТОМ ФАКТОРОВ РЫНОЧНОГО СПРОСА

---

В условиях либерализации экономики Республики Беларусь значение инновационного пути развития повышается. В связи с этим на современном этапе встают задачи скорейшего перехода к информационному обществу путем внедрения инновационных информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) и услуг, которые являются важным фактором инвестиционного климата и условием для развития бизнеса. Основные задачи и направления развития белорусского телекоммуникационного рынка определены Государственной программой инновационного развития, Программой информатизации «Электронная Беларусь», Программой развития связи Республики Беларусь на 2006–2010 гг.

В последнее время технический прогресс в области телекоммуникаций характеризуется появлением новых перспективных технологий и услуг, реализованных на основе IP-протокола, спрос на которые должны будут удовлетворять операторы электросвязи и передачи данных.

Приоритетными направлениями развития рынка телекоммуникаций в Республике Беларусь являются [1]:

- предоставление услуг стационарного широкополосного доступа в Интернет. Количество пользователей Интернетом в 2008 г. составило 3,3 млн человек. Количество абонентов услуги широкополосного доступа в Интернет в настоящее время составляет более 470 тыс. К 2010 г. по прогнозам Министерства связи Республики Беларусь количество стационарных широкополосных абонентов составит око-

---

*Кристина Адамовна ЗАБРОДСКАЯ, ассистент кафедры информационных технологий Белорусского государственного экономического университета;*

*Татьяна Алексеевна ТКАЛИЧ, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры информационных технологий Белорусского государственного экономического университета.*