

О.Н. Поддубная

кандидат физико-математических наук, доцент

БГЭУ (Минск)

О ПОДХОДАХ К МОДЕЛИРОВАНИЮ СОВРЕМЕННОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ

В статье предложены новые подходы формализации взаимосвязей между основными факторами высокотехнологичных и наукоемких секторов экономики, в которых зарождается и получает развитие методология оценки, в том числе и количественная, «знаниевой» компоненты современного производства. Описанная в настоящей работе экономико-математическая модель может быть использована при разработке прогностических систем различного уровня.

New approaches of interrelation formalization between the main factors of high-technology production are proposed in this article. The author makes an attempt to estimate «knowledge» component of modern production in quantitative form. The dynamical model described by differential-algebraic system with delay can be used in design of various forecast systems.

Сегодня, подчеркивая важность знания как источника экономического роста, некоторые авторы говорят о нем как о новом самостоятельном факторе производства. На феномены процесса накопления знания как одного из факторов общественного развития и влияния технологического прогресса на экономический рост внимание экономистов впервые обратил Роберт Солоу [1, 2]. Его модель, основу которой составляет дифференциальное уравнение первого порядка, играет важную роль в неоклассической теории экономического роста. В 60-е гг. XX в. Ф. Махлупом был введен в научный оборот термин «экономика знаний» для определения типа экономики, в которой знания играют решающую роль, а производство знаний является источником роста. В последние годы экономической теории в области экономики знаний стали предметом интенсивных научных исследований. Связано это с тем, что формирование и развитие экономики знаний (инновационной экономики, новой экономики) в каждой конкретной стране рассматривается как единственно возможная альтернатива экономического роста.

Считается, что экономика знаний существенно отличается от экономики индустриального типа, когда накопление богатства было связано с материальными активами — напротив, в экономике, основанной на знаниях, особое внимание должно уделяться накоплению человеческого капитала, а также созданию такой инфраструктуры, которая позволила бы эффективнее использовать накопленные опыт и знания в производстве и потреблении [3]. Впервые человеческий капитал был включен в неоклассическую эндогенную математическую модель экономического роста в знаменитой (и теперь уже ставшей классической) работе Р. Лукаса [4].

При формировании тех или иных стратегий экономического развития с помощью математического моделирования, позволяющего количественно описать качественные законы экономической динамики, ученые отмечают, что главная проблема в исследовании факторов экономического роста переместилась от статистического анализа количественных переменных к качественному анализу. Потребовались органическое сочетание методов количественного и качественного анализа и разработка специальных методов исследования качественных переменных с целью включения их в общую структуру моделей. Нобелевские лауреаты по экономике Р. Лукас, Ф. Кюдланд, Э. Прескотт, Э. Фелпс, Т. Сарджент, К. Симс, чьи имена связывают с так называемой неоклассической макроэкономикой и теорией рациональных ожиданий, в своих работах развивали идею о том, что разумные модели макроэкономики должны строиться не на эмпирических законо-

мерностях, найденных в данных, а на обоснованных теоретических предположениях о поведении оптимизирующих агентов. При анализе экономической статистики затруднительно что-либо говорить о причинно-следственной связи между факторами — можно наблюдать лишь их корреляции. Но если исследователь стремится использовать эту закономерность для сценарного прогнозирования или макроэкономической политики, то необходимо понять ее природу — при обнаружении эмпирической закономерности он должен в первую очередь предложить внутренне логическую теоретическую модель, основанную на разумных предположениях и способную объяснить причинно-следственные связи между интересующими факторами. Далее на статистических данных необходимо проверить всю модель целиком, чтобы убедиться, насколько логика рассуждений не противоречит фактам. Если у исследователей в арсенале несколько моделей, то следует выявлять те аспекты, которые максимально отклоняют построенные прогнозы от реальных данных, и либо улучшать модель, либо отказаться от нее в пользу альтернативной.

При создании математической модели того или иного процесса исследователь всегда находится перед дилеммой соблюдения разумного баланса между понятностью, простотой модели и ее достаточной уточненностью, детальностью. По мнению автора, при создании базовых моделей приоритет должен отдаваться простоте модели, в которой тем не менее должны быть отражены ключевые факторы и их взаимосвязи. Пройдя проверку статистическими данными и научным сообществом, работоспособная модель подвергается модификации, обычно усложняясь в результате добавления в нее новых факторов и математических закономерностей, связывающих их.

В работах [5—8] автор предлагает подходы к вопросам моделирования инновационно-инвестиционного цикла высокотехнологичных производств. Для исследования выбраны высокотехнологичные производства ввиду того, что именно в этом секторе зарождается и получает развитие методология оценки, в том числе и количественная (в денежно-материальной форме), «знаниевой» компоненты производства. С целью прогнозирования конъюнктуры рынка высокотехнологичной продукции, целесообразности инвестиций и их ожидаемой отдачи в работе [5] обсуждается подход к формализации экономических отношений, возникающих в процессе инновационно-инвестиционного цикла высокотехнологичных производств, рассматривая его в неразрывности и двунаправленности таких подпроцессов, как «инвестиции для инноваций» [6] и «инновации для инвестиций» [7]. В основу предлагаемой управляемой модели рынка высокотехнологичной продукции, связывающей объем производимых знаний и материального продукта с инвестиционной активностью субъектов данного рынка и рядом внешних управляющих воздействий, легла матричная система дифференциально-алгебраических уравнений

$$\frac{dV(t)}{dt} = AV(t) + BI(t) + CU(t),$$

$$I(t) = GV(t) + KI(t - h) + LU(t), \quad t \geq h, \quad h = \text{const}. \quad (1)$$

Здесь $V(t)$, $I(t) \in \mathbb{R}^2$, $U(t) \in \mathbb{R}^4$ — параметры модели, являющиеся векторными функциями от временного аргумента, выраженные в каждый момент в денежных единицах: $V(t)$ — емкость рынка (где $v_1(t)$ — объем выпускаемых товаров и услуг; $v_2(t)$ — объем коммерческих сделок по торговле объектами интеллектуальной собственности); $I(t)$ — объем инвестиций (где $i_1(t)$ — общие затраты сектора рынка высокотехнологичных производств за исключением затрат на НИОКР; $i_2(t)$ — инвестиции в новые знания (затраты на НИОКР); $U(t)$ — экзогенные управляющие воздействия (где $u_1(t)$ — объем налоговых льгот и таможенных преференций; $u_2(t)$ — объем амортизационных отчислений; $u_3(t)$ — денежно-кредитная политика; $u_4(t)$ — уровень патентно-правовой защиты авторских прав).

Соответствующие элементы матриц $A, B, G, K \in \mathbb{R}^{2 \times 2}$, $C, L \in \mathbb{R}^{2 \times 4}$ задают вес каждого компонента отрасли, инвестиционной программы, управленческой политики в процессе высокотехнологичного производства, которые можно назвать структурными характеристиками системы. Следует отметить, что размер матриц A, B, G, K, C, L , вообще говоря, определяется размерностями параметров $V(t), I(t), U(t)$ модели, которые в случае необходимости могут быть уточнены, т.е. система может быть «настроена» исследователем с помощью расширения векторов $V(t)$, и/или $I(t)$, и/или $U(t)$ и соответственно добавления в (1) однотипных уравнений, что тем не менее не скажется на общем виде матричной системы (1).

Начальные условия для системы зададим в виде

$$V(h) = V_h, \quad I(\tau) = \psi(\tau), \quad \tau \in [0, h]. \quad (2)$$

С точки зрения экономики начальные условия (2) могут быть интерпретированы следующим образом. В момент времени t от 0 до h осуществляются инвестиции в технологические инновации, закладывающие основу будущего рынка. Особенностью кардинальных инноваций, запускающих механизмы инновационного скачка, можно считать то, что в большинстве случаев они возникают после паузы, необходимой для превращения фундаментальных научных идей в прикладные или технологические разработки. $V(h) = V_h$ — объем потенциальных инноваций, который необходим для инновационного скачка. Стадия принятия решения относительно коммерциализации инновации (подготовительная стадия) характеризуется тем, что на формирующихся рынках высокотехнологичной продукции первоначальный спрос, с одной стороны, может присутствовать в неявном виде — в ожидании технических и технологических решений, способных его удовлетворить, а с другой — система и социальная среда во многих случаях могут оказаться совершенно не готовыми к восприятию инноваций. На этой стадии осуществляющиеся инвестиции в технологические инновации, закладывающие основу будущего рынка, являются абсолютно затратными и способными окупиться только на последующих временных интервалах.

Следует отметить, что переменная $V(t)$ может описывать как емкость рынка, так и объем выпуска в зависимости от того, какая динамика прогнозируется — спроса или предложения. С точки зрения сбора статистического материала, безусловно, легче моделировать и прогнозировать динамику объема выпуска.

Теоретические основы концепции человеческого капитала, различные методики его измерения, а также способы учета в динамических моделях экономического роста разрабатывались такими учеными, как Г. Беккер (G. Becker), М. Блауг (M. Blaug), Э. Денисон (E.F. Denison), П. Кленов (P.J. Klenow), Дж. Ли (J. Lee), Ф. Махлуп (F. Machlup), Н. Мэнкью (N.G. Mankiw), Дж. Минсер (J. Mincer), Т. Шульц (T.W. Schultz), Д. Вейл (D.N. Weil), Л. Восманн (L. Wosmann), С. Глазьев, А. Варшавский и др. Большой вклад в разработку теоретических и методологических аспектов исследования проблем экономического роста и развития, построение и исследование их математических моделей внесли такие ученые, как К. Эрроу (K.J. Arrow), Д. Касс (D. Cass), Т. Купманс (T. Coormans), Е. Домар (E.D. Domar), Р. Харрод (R.F. Harrod), Н. Калдор (N. Kaldor), Р. Лукас (R. Lucas), Ф. Рамсей (F.P. Ramsey), П. Ромер (P. Romer), Р. Солоу (R.M. Solow), Х. Узава (H. Uzawa), В. Макаров, В. Максимов и др. Несмотря на то что исследования в области моделирования инновационной и инвестиционной составляющих современной экономики ведутся достаточно интенсивно, предложенная автором формализация инновационно-инвестиционной динамики высокотехнологичных производств в виде системы (1), (2) ранее в литературе не встречалась.

Описание инновационно-инвестиционного цикла высокотехнологичных производств с помощью дифференциально-алгебраической системы (1)—(2) отражает об-

щее свойство экономических систем — полиструктурность, т.е. взаимопроникновение разнокачественных подсистем. Первое уравнение системы (1) является дифференциальным, которое описывает связь таких факторов, как темп усвоения инноваций с емкостью рынка, объемом инвестиций и рядом управляющих факторов, характеризующих политику государства, формирующую среду для развития наукоемких, высокотехнологичных секторов производства. Темп усвоения инновации — это скорость, с которой она принимается членами социальной системы. На темп усвоения инновации в наибольшей степени влияет уровень ее соответствия существующим ценностям и нуждам потребителя, а также прошлому опыту. Из теории дифференциального исчисления известно, что если функция дифференцируема, то она является непрерывной, что не противоречит тому факту, что процесс накопления знаний (человеческого капитала) является непрерывным во времени. В рассматриваемой модели траектория изменения во времени фактора $V(t)$, описывающего инновационную динамику, непрерывна. Второе уравнение системы (1) является алгебраическим, связывающим объем текущих инвестиций с текущими емкостью рынка и управляющими воздействиями, а также объемом инвестиций в предыдущем периоде. Как следует из структуры второго уравнения системы (1), траектория изменения во времени фактора $I(t)$, описывающего инвестиционную динамику, является кусочно-непрерывной (отличной от нуля только в дискретные моменты времени в частном случае), что не противоречит реальности.

Следует также отметить, что, по мнению автора, более адекватное моделирование экономической динамики возможно с учетом в модели зависимости ряда переменных от одного или нескольких лагов. Любая экономическая система в своем развитии во времени использует информацию из прошлых периодов, информация накапливается и не забывается, т.е. любая экономическая система обладает памятью. Более того, в отличие от технических систем, для которых возможность принудительного возвращения текущего состояния в исходное («сброс на ноль») никак не повлияет на состояние системы при повторном ее запуске, для экономических процессов любой начальный момент времени $t = 0$, с которого систему начинают изучать, относительно момента $t = h$ (моментов $t_i = h_i$, $i = 1, 2, \dots, n$), т.е. любое состояние экономической системы в настоящий момент времени определяется ее состояниями в прошедших периодах. Поэтому любые прогнозные модели экономической динамики должны содержать лаговые переменные. Наличие временного лага характеризует не только элементы обратной связи и обратного влияния, а также цикличность в динамике процесса. Величина лага h может определяться продолжительностью коротких, средних и длинных циклов экономической динамики, что настраивает модель на соответствующее кратко-, средне- или долгосрочное сценарное прогнозирование.

Ввиду линейности системы (1)—(2) ее решение может быть представлено в виде суперпозиции векторных функций, одна из которых зависит только от начальных данных, а другая — от управляющего воздействия, а именно:

$$\begin{bmatrix} V(t; V_h; \psi, U) \\ I(t; V_h, \psi, U) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V(t; V_h; \psi, 0) \\ I(t; V_h, \psi, 0) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V(t; 0; 0, U) \\ I(t; 0; 0, U) \end{bmatrix}. \quad (3)$$

В данном контексте линейность модели инновационно-инвестиционного цикла высокотехнологичных производств можно рассматривать как существенное преимущество. Именно линейность модели позволяет отдельно изучить динамику системы без воздействия внешних управлений (если $U(\cdot) \equiv 0$), описываемую первым слагаемым в правой части формулы (3), а также динамику системы только под воздействием линейной комбинации компонент внешнего управления $U(t)$ (если $V_h \equiv 0$, $\psi(\cdot) \equiv 0$), описываемой вторым слагаемым в правой части формулы (3). Такое представление удобно в первую очередь ввиду возможности моделирования экономик различного типа. Первое слагае-

мое формулы (3) описывает инновационно-инвестиционную динамику промышленности государств, экономика которых функционирует в режиме, когда управляющие воздействия со стороны государства близки к нулю, но имеются начальные инвестиции (внешние или внутренние). Второе слагаемое формулы (3) формирует инновационную $V(t)$ и инвестиционную $I(t)$ траектории экономической динамики государств, не обладающих достаточным объемом начальных инвестиций, но вектор государственного регулирования экономики значителен. Безусловно, рассмотренные ситуации крайне идеализированы, и трудно назвать страны, экономическая динамика которых полностью описывается либо первой, либо второй компонентой суммы (3). А вот наложение этих двух компонент позволяет адекватно описывать экономическую динамику на макроуровне. Более того, суперпозиция (3) собственной и управляемой динамики системы (1)—(2) придает гибкость промышленной политике государства, позволяя в определенный промежуток времени варьировать соотношением слагаемых.

С точки зрения теории управления ввиду линейности системы (1), (2) достаточно несложно решается вопрос о ее управляемости — существовании вектора допустимого управления $U(t)$ (промышленной политики государства), такого что для любых начальных данных вида (2) система способна через определенный промежуток времени достичь любого наперед заданного состояния.

Таким образом, предложенная в настоящей работе экономико-математическая модель позволяет повысить адекватность формализации взаимосвязей ключевых факторов современных высокотехнологичных производств, оказывающих влияние на динамику рынков наукоемкой продукции и коммерциализированного знания (в виде ОИС), и может быть использована при разработке прогностических систем различного уровня.

Л и т е р а т у р а

1. *Solow, R.M.* A Contribution to the Theory of Economic Growth / R.M. Solow // Quarterly J. of Economics. — 1956. — P. 63—94.
2. *Solow, R.M.* Technical Change and the Aggregate Production Function / R.M. Solow // Review of Economics and Statistics. — 1957. — P. 312—320.
3. Экономика знаний: моногр. / под ред. В.П. Колесова. — М.: ИНФРА-М, 2008. — 432 с.
4. *Lucas, R.E.* On the Mechanics of Economic Development / R.E. Lucas // J. of Monetary Economics. — 1988. — Vol. 22, № 1. — P. 3—42.
5. *Поддубная, О.Н.* Динамическая модель инновационно-инвестиционного цикла высокотехнологичных производств / О.Н. Поддубная // Науч. тр. Белорус. гос. экон. ун-та. — 2010. — С. 347—353.
6. *Поддубная, О.Н.* Особенности построения динамической модели рынка высокотехнологичной продукции / О.Н. Поддубная // Вестн. БГЭУ. — 2009. — № 6. — С. 45—51.
7. *Поддубная, О.Н.* Подходы к моделированию инвестиционного цикла высокотехнологичных производств / О.Н. Поддубная, В.Ю. Шутин // Вестн. БГЭУ. — 2009. — № 4. — С. 30—38.
8. *Поддубная, О.Н.* Структура динамической модели инновационно-инвестиционного цикла высокотехнологичных производств / О.Н. Поддубная // Науч. тр. Белорус. гос. экон. ун-та. — 2011. — С. 323—329.

Статья поступила в редакцию 04.01.2013 г.