

О. Н. Поддубная

*Белорусский государственный экономический университет, Минск, Беларусь,
poddubnaia.olesia@gmail.com*

МОДЕЛЬ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ИНВЕСТИЦИОННОГО ЦИКЛА В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

В работе выносятся на обсуждение три основных принципа динамической сложности, которые целесообразно учитывать при структурной идентификации оператора эволюции социально-экономических систем в условиях трансформации. Предлагается концептуальная модель макроэкономической динамики в виде гибридной быстро-медленной системы с запаздываниями и управлением. В рамках процессно-системной методологии дифференциально-алгебраической системой описана динамическая односекторная модель экономического роста страны в условиях цифровой трансформации.

Ключевые слова: *экономический рост, производственно-инвестиционный цикл, модель односекторной экономики, динамическое равновесие, дифференциально-алгебраическая система, цифровая трансформация*

O. Poddubnaia

Belarusian State University of Economics, Minsk, Belarus, poddubnaia.olesia@gmail.com

MODEL OF THE PRODUCTION AND INVESTMENT CYCLE UNDER THE CONDITIONS OF DIGITAL TRANSFORMATION

The paper proposes for discussion three main principles of dynamic complexity, which should be taken into account in the structural identification of the operator of the evolution of socio-economic systems in the conditions of transformation. A conceptual model of macroeconomic dynamics is proposed in the form of a hybrid fast-slow system with delays and control. Within the framework of the process-system methodology, a dynamic one-sector model of the country's economic growth in the context of digital transformation is described by a differential-algebraic system.

Keywords: *economic growth, production and investment cycle, single-sector economy model, dynamic equilibrium, differential-algebraic system, digital transformation*

Методология исследования макроэкономической динамики развивалась с учетом основных концепций и направлений теории экономического роста, среди которых выделяют основные и наиболее значимые: в 30-е гг. XX ст. сформировалось так называемое неокейнсианское направление (Р. Харрод, Е. Домар, П. Самуэльсон, Дж. Хикс); в 1950–1960-е гг. интенсивные исследования проводили представители неоклассической школы (П. Ромер, Р. Солоу, Т. Суон, Дж. Мид, В. Леонтьев, Э. Денисон), создавшие базу теории экзогенного экономического роста; в 1980-е гг. закладывались основы новой теории эндогенного экономического роста (Г. Беккер, М. Блауг, П. Кленоу, Дж. Ли, Ф. Махлуп, Н. Мэнкью, Дж. Минсер, Т. Шульц, Д. Вейл, Л. Восманн, Р. Лукас, Х. Узава, С. Глазьев, А. Варшавский). Последние два десятилетия актуальные вопросы технологического прогресса и его влияния на социальное развитие изучаются экономистами с учетом новых тенденций беспрецедентного развития цифровых технологий.

Для исследования экономического роста используются и разрабатываются разные методологии, одной из которых является факторный анализ, суть которого в комплексном и систематическом наблюдении и измерении влияния определенных факторов на результирующий показатель с использованием детерминированных (функциональных) или стохастических (корреляционных)

моделей. Одним из успешно используемых инструментов прямого детерминированного факторного анализа являются производственные функции, которые описывают взаимосвязь факторов в определенные периоды времени для изучения стационарных свойств социально-экономических систем.

Для изучения экономической динамики более естественным представляется использование процессно-системного подхода, в рамках которого рассматривается не взаимосвязь стационарных факторов, а развивающихся во времени процессов. Процессно-системный подход социально-экономическую систему трактует как динамическую систему на любом уровне иерархии. Динамическая система – математическая абстракция или алгоритмически-цифровая формализация, предназначенная для описания и изучения эволюции систем во времени [1, с. 77]. Динамика некоторого явления описывается процессом перехода системы из одного состояния в другое. Состояние системы определяется множеством характеристик (координат) в некоторый фиксированный момент времени, т. е. в каждый момент времени система описывается вектором состояния $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n, \dots\}$ (конечным или бесконечным). Процесс перехода системы из одного состояния в другое (или изменения характеристик во времени) описывается оператором эволюции. Динамическая система считается описанной, если задано начальное состояние и закон, по которому система переходит из начального состояния в другое.

Модель динамической системы в общем виде определяется совокупностью:

- 1) пространство состояний X , образующее полное метрическое пространство; пространство начальных состояний $X_0 \subset X$;
- 2) множество моментов времени T ; начальный горизонт $T_0 \subset T$;
- 3) оператор эволюции E_t (некоторое отображение $X \rightarrow X$), который каждому состоянию $x_0 \in X$ в начальный момент времени $t_0 \in T$ ($x_0 = x(t_0)$) однозначно ставит в соответствие некоторое состояние $x(t) \in X$ в любой другой момент времени $t \in T$, т. е. $x(t) = E_t x(t_0)$.

Каждому состоянию системы соответствует изображающая точка. Совокупность изображающих точек определяет траекторию движения системы. Если множество $T = [t_0, t]$ (время изменяется непрерывно), то изучается континуальная (потокковая) динамическая система. Если множество $T = \{t_0, t_1, \dots, t_n, \dots\}$ (время изменяется дискретно), то рассматривается динамическая система с дискретным временем. Несмотря на дискретность отдельных операций в экономических исследованиях, они чаще всего разновременные на достаточно большом промежутке времени, и при их агрегировании часто переходят к потоковым модельным переменным и системам.

Среднесрочное и долгосрочное прогнозирование макроэкономической динамики предполагает при структурной идентификации оператора эволюции учитывать три основных принципа динамической сложности [1, с. 78]:

- а) любые социально-экономические трансформации не происходят одномоментно (им предшествует достаточно длительный подготовительный этап), поэтому логика их моделирования требует выделять как «быстрые», так и «медленные» переменные, описывающие процессы, которые протекают в разных масштабах времени (динамика «быстрых» процессов описывается мгновенными скоростями, а «медленных» – средними скоростями);
- б) экономическая инерционность и историческая память предполагает наличие временных лагов в модельных переменных, поскольку состояние системы в будущие моменты времени зависит не только от текущего состояния, но и от всей предыстории ее развития;
- в) экономическая динамика, особенно в переходных условиях, должна быть управляемой, т. е. в ее моделях следует формализовать механизмы целенаправленного достижения заданных или близких к ним состояний системы.

Таким образом, макроэкономическую динамику социально-экономической системы в условиях трансформаций предлагается описывать в общем виде гибридной быстро-медленной системой с запаздываниями и управлением:

$$\begin{cases} \frac{dx(t)}{dt} = F_1(x(t), y(t), u(t)) , & t > h_l \\ y(t) = F_2(x(t), y(t-h_1), y(t-h_2), \dots, y(t-h_l), u(t)) , & t \geq h_l \end{cases} \quad (1)$$

где $x(t)$ – «быстрая» переменная, $y(t)$ – «медленная» переменная, $u(t)$ – экзогенное управление, постоянные $0 < h_1 < h_2 < \dots < h_l$ – временные лаги, $h_l \in \mathbb{R}$, $\forall i \leq l$, $l \in \mathbb{N}$.

Для построения траектории эволюции системы (1) необходимо задать начальный горизонт $T_0 = [0, h_1)$ и пространство начальных состояний $X_0 = \{x_0 = x(h_1), y_0 = \psi(t_0) \mid t_0 \in T_0\}$, где $\psi(\cdot)$ принадлежит классу допустимых функций конкретной задачи. В предложенной концептуальной математической модели в описании структуры оператора эволюции присутствуют два «черных ящика» F_1 и F_2 , раскрытие которых осуществляется аналитическими или имитационными методами моделирования для конкретной прикладной задачи.

Для проведения межстрановых или межрегиональных исследований экономической динамики многие авторы предлагают использовать односекторную модель [2; 3]. В такой модели все ее показатели представлены в высоко агрегированном виде, совокупный выпуск рассматривают в упрощенном виде. Следует отметить, что простота односекторной модели не умаляет ее диагностической значимости, и с ее помощью можно получить как ценные теоретические выводы, так и практические расчеты.

Пусть выбрано n стран, тогда в соответствии с методом распределения дохода динамическое уравнение баланса для внутренних потоков производственно-инвестиционного цикла i -й страны имеет вид:

$$x_i(t) = g_i(t) + w_i(t) + c_i(t) , \quad (2)$$

где $x_i(t), g_i(t), w_i(t), c_i(t)$ – непрерывные функции, описывающие в момент времени t для экономики i -й страны объемы валового выпуска, чистого внутреннего инвестирования, производственного потребления и конечного потребления (в которое включены государственные расходы и чистый экспорт) соответственно.

Из уравнения (2) для целей краткосрочного прогнозирования при различных гипотезах могут быть выведены известные динамические уравнения представителей неокейнсианского и неоклассического направлений (например, Харрода – Домара и Самуэльсона – Хикса) [4]. Динамические модели для дискретного времени описывались разностными уравнениями, а для непрерывного времени – дифференциальными. По мнению автора, гипотеза Кейнса об экзогенности чистых инвестиций, которая наряду с другими предпосылками определяла содержание этих моделей, не соответствует экономической сути распределения внутреннего потока (2). В виду этого, одну из интерпретаций динамического уравнения, учитывающей допущение Харрода о том, что валовый продукт следующего года полностью определяется спросом текущего года, для непрерывного времени предлагается модифицировать с учетом потока внешних инвестиций, формализованный функцией управления $u_i(t)$:

$$\frac{dx_i(t)}{dt} = \frac{1}{1 - a_i(t)} g_i(t) - b_i(t)x_i(t) + k_i(t)u_i(t), \quad t > 0, \quad i = \overline{1, n}, \quad (3)$$

где коэффициент $a_i(t)$ можно интерпретировать как динамическую норму (долю) производственного потребления, $b_i(t)$ – динамическую норму производственного накопления, $k_i(t)$ – динамическую норму внешнего инвестирования в экономику i -й страны, причем $0 < a_i(\cdot) < 1$, $0 < b_i(\cdot) < 1$, $k_i(\cdot) \geq 0$. Условие $k_i(\cdot) = 0$ соответствует модели закрытой экономики.

Динамику внутренних инвестиций предлагается моделировать с учетом гипотезы о пропорциональности прироста внутренних чистых инвестиций в i -й стране за определенный период h (освоенные инвестиции за период h) объему валового выпуска в текущий момент:

$$g_i(t) - g_i(t-h) = \gamma_i(t)x_i(t), \quad t \geq h, \quad h = \text{const}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (4)$$

где коэффициент $\gamma_i(t)$ – динамический интегральный показатель уровня цифровизации экономики i -й страны. Теоретически $k_i(\cdot) \in \mathbb{R}$. Динамический коэффициент $\gamma_i(t)$ формализует структурный технологический сдвиг в экономике i -й страны, происходящий в момент t , но потенциал для которого закладывался и накапливался за период h .

Для систем (3–4) начальные условия имеют вид: $x_i(h) = x_{ih}$, $g_i(\tau) = \psi_i(\tau)$, $\tau \in [0, h]$.

Динамическую односекторную модель экономического роста i -ой страны в условиях цифровой трансформации с эндогенными потоками валового выпуска и чистого инвестирования, а также потоком внешних инвестиций в виде управляющего воздействия предлагается описывать дифференциально-алгебраической системой (3), (4). Первое уравнение (3) описывает зависимость мгновенной скорости валового выпуска от объема внутренних и внешних инвестиций в текущий момент времени. Второе уравнение (4) определяет зависимость средней скорости инвестиций за период h от объема валового выпуска в текущий момент времени. Таким образом, в рамках процессно-системной методологии динамика процессов производственно-инвестиционного цикла описывается гибридной быстро-медленной системой.

Список использованных источников

1. Поддубная, О. Н. Процессно-системный подход в исследовании социально-экономических систем: от концепций к моделям / О. Н. Поддубная // Белорус. экон. журн. – 2021. – № 3. – С. 70–82.
2. Балацкий, Е. В. Технологический эффект масштаба и экономический рост / Е. В. Балацкий, М. А. Юревич // Terra Economicus. – 2020. – № 18 (1). – С. 43–57.
3. Ерошин, А. А. Моделирование экономического роста на основе однопродуктовой модели с учетом поведенческих факторов / А. А. Ерошин // Экон. наука соврем. России. – 2021. – № 2 (93). – С. 26–39.
4. Харрод, Р. Теория экономической динамики / Р. Харрод ; под. ред. В. Г. Гребенникова. – М. : ЦЭМИ РАН, 2008. – 210 с.