

МОДЕЛЬ УСТОЙЧИВОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА

Т. В. Воробьева

Томский государственный архитектурно-строительный университет

Предложена модель экономического роста, представляющая собой модификацию модели Солоу: в рассмотрение введен природный капитал и обобщенная норма сбережения, включающая в себя затраты на воспроизводство природного капитала. Получено оптимальное по критерию среднедушевого потребления значение обобщенной нормы сбережения и нормы сбережения на развитие основных фондов.

ВВЕДЕНИЕ

В XX в. в промышленно развитых странах сложился техногенный тип развития экономики. Для него характерна ориентация на экономический рост без учета экологических ограничений. Основная цель состоит в максимизации ВВП, ВНП, объемов потребления. Высокий уровень потребления, а следовательно, и производства товаров и услуг ведет к значительному расходованию исчерпаемых и невозобновимых природных ресурсов и к масштабному загрязнению окружающей среды. Природная среда рассматривается как инструмент для удовлетворения потребностей людей. Определяющими являются интересы людей, живущих в настоящее время, не учитываются интересы будущих поколений [1]. В 1987 г. Международной комиссией по окружающей среде и развитию по заданию ООН был сделан доклад «Наше общее будущее», в котором идет речь о необходимости перехода от техногенного типа развития экономики к устойчивому. Устойчивое развитие определяется как «развитие, которое удовлетворяет потребности настоящего времени, но не ставит под угрозу способность будущих поколений удовлетворять свои потребности» [1]. Должно обеспечиваться расширенное или, по крайней мере, простое воспроизводство природного капитала (в техногенной экономике наблюдается суженное воспроизводство). Следует стремиться не к максимизации основных показателей роста экономики (ВВП, ВНП), а к их оптимизации с учетом экологических факторов. Экономические решения должны приниматься с учетом их долгосрочных экологических последствий.

Если рассматривать экономическую систему как объект управления, то управляющие воздействия, удовлетворяющие критериям устойчивого развития, сводятся к перераспределению инвестиций, причем обязательными становятся инвестиции на возобновление природного капитала и проведение природоохранных мероприятий.

1. МОДЕЛЬ УСТОЙЧИВОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА С УЧЕТОМ ПРИРОДНОГО КАПИТАЛА

Известные модели экономического роста [2, 3] учитывают два фактора производства: труд и капитал. Под капиталом обычно подразумеваются основные производственные фонды, которые развиваются путем привлечения инвестиций. В настоящее время понятие капитала претерпело некую трансформацию в связи с осознанием взаимозаменяемости факторов производства. В отсутствие достаточного количества одного из видов капитала его можно заменить другим видом. Так, по мере исчерпания невозобновимых природных ресурсов требуется их замена искусственными материалами (в идеале, получаемыми из возобновляемых природных материалов), в случае снижения численности работников — повышение технической оснащенности производства и т. п. В результате инвестиционные ресурсы могут быть использованы на совершенствование технологий в целях уменьшения вредных выбросов, снижения ресурсоемкости и т. п.; средства, расходуемые на образование, обеспечивают развитие науки, результаты которой могут быть использованы для развития новых природосберегающих технологий.

Таким образом, актуальной задачей становится разработка моделей экономического роста, учитывающей взаимосвязь факторов производства, их взаимозаменяемость и влияние на окружающую среду.

Далее предлагается математическая модель, представляющая собой модификацию модели Солоу. Особенность предлагаемой модели состоит в учете необходимости возобновления природных ресурсов (природного капитала). Очевидно, что уменьшение природного капитала определяется, прежде всего, объемом добычи полезных ископаемых, а также размером ущерба, наносимого окружающей природной среде промышленным производством. В частности, развитие добывающих отраслей влечет за собой рост основных фондов добывающей промышленности и увеличение нагрузки на

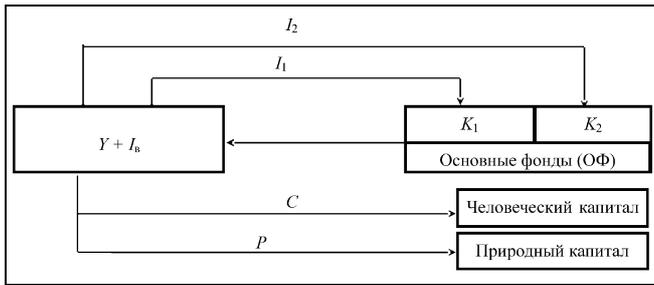


Рис. 1. Схема модели, определяющая динамику макроэкономических показателей:

Y — ВВП; I_b — внешние инвестиции; K_2 и K_1 — ОФ добывающей промышленности и прочих отраслей соответственно; I_1, I_2, C и P — инвестиции в соответствующие виды капитала

окружающую среду. Эти соображения позволяют рассмотреть в качестве одного из факторов производства основные фонды добывающей промышленности в динамике и во взаимосвязи с другими факторами. Рассмотрим модель, представленную на рис. 1.

Пусть Y — валовый внутренний продукт, I_b — внешние инвестиции. Объем денежных средств, распределяемых в системе равен $Y + I_b$.

Все показатели, входящие в модель, рассматриваются как функции времени, если не оговорено противное. Для простоты обозначений будем считать $Y = Y(t), K = K(t)$ и т. д.

Сделаем следующие предположения.

- Объем внешних инвестиций незначителен (величину I_b можно положить равной нулю).
- $Y = C + I + P,$ (1)

где C — инвестиции в человеческий капитал (средства, расходуемые на здравоохранение и образование), I — инвестиции в основной капитал, которые складываются из инвестиций в основные фонды добывающей промышленности I_2 и все остальные основные фонды I_1 , т. е. $I = I_1 + I_2$; кроме того, $I = (s_1 + s_2)Y, I_1 = s_1 Y_1, I_2 = s_2 Y_2$, где Y_2 и Y_1 — ВВП добывающей промышленности и всей остальной, соответственно, и $s = s_1 + s_2$ — норма сбережения; P — инвестиции в природоохранные мероприятия, $P = s_3 Y$, здесь s_3 — норма сбережения на природный капитал, тогда $s_0 = s_1 + s_2 + s_3$ — обобщенная норма сбережения и $C = (1 - s_0)Y$.

- Численность занятых в момент времени t определяется по формуле

$$L(t) = L_0 e^{gt}, \quad (2)$$

где L_0 — численность занятых в момент времени t_0, g — темп прироста числа занятых, причем $g \leq 0$.

- Динамика развития основных фондов K описывается уравнением

$$\frac{dK}{dt} = I - mK, \quad K(0) = K_0, \quad m = \text{const}, \quad (3)$$

где m — норма амортизации, K_0 — начальное значение основных фондов.

Аналогично инвестициям в основные фонды основной капитал рассматривается как сумма основных фондов добывающей промышленности K_2 и всех остальных основных фондов K_1 , т. е. $K = K_1 + K_2$.

Соответствующие уравнения динамики и начальные условия будут выглядеть следующим образом:

$$\frac{dK_1}{dt} = I_1 - m_1 K_1, \quad K_1(0) = K_{10}, \quad m_1 = \text{const},$$

$$\frac{dK_2}{dt} = I_2 - m_2 K_2, \quad K_2(0) = K_{20}, \quad m_2 = \text{const},$$

где m_1 и m_2 — соответствующие нормы амортизации.

- Природный капитал может увеличиваться в результате инвестиций и уменьшаться в результате износа (по аналогии с основными фондами). Причиной износа природного капитала является ущерб, наносимый окружающей природной среде промышленным производством. Пусть u — ущерб, наносимый окружающей среде в результате производства условной единицы продукции. Тогда динамика изменения природного капитала задается уравнением

$$\frac{dK_n}{dt} = -Y_2 - uY + eP, \quad K_n(0) = K_{n0}, \quad (4)$$

где e — эффективность использования инвестиций, $0 \leq e \leq 1$, в дальнейшем для простоты положим $e = 1$.

Функция Y представляет собой производственную функцию вида $Y = f(K, L, Pr)$, зависящую от факторов K, L и Pr , где Pr — совокупность факторов, которая может меняться в зависимости от целей исследования и экономической ситуации в каждом конкретном случае.

Заметим, что при $P = 0$ предположения (1)–(4) представляют собой достаточно подробно исследованную односекторную модель Солоу. Для того, чтобы все показатели можно было рассматривать во взаимосвязи, производственная функция Y представляется в виде функции Кобба–Дугласа $Y = AK^\alpha L^\beta$, и анализ модели сводится к исследованию аналитического решения дифференциального уравнения, все траектории которого при $t \rightarrow \infty$ сходятся к устойчивому стационарному решению независимо от начальных условий [3]. Одним из результатов исследования уравнения является «золотое правило потребления» — определение нормы сбережения, которая в рамках предположений модели Солоу оптимальна по критерию среднедушевого потребления [2]. Рассмотрим, какие коррективы вносит дополнение модели Солоу инвестициями на возобновление природного капитала.

2. ОБ ОПТИМАЛЬНОЙ НОРМЕ СБЕРЕЖЕНИЯ

Если рассматривать основные фонды в целом, не выделяя добывающую промышленность, то и при $P > 0$ схема анализа останется прежней, меняется лишь доля ВВП, расходуемая на потребление. Следуя работе [3], представим Y в виде $Y = Y_0 (K/K_0)^\alpha (L/L_0)^{1-\alpha}$, тогда, пос-

ле преобразований [3], среднедушевое потребление при сбалансированном росте в нашей модели

$$C/L = (1 - s_0)Y/L = E(1 - s_0)s^{\alpha/(1-\alpha)},$$

$$\text{где } E = (Y_0/L_0)(Y_0/((m+g)K_0))^{\alpha/(1-\alpha)} = \text{const.}$$

Функция $z(s_0) = (1 - s_0)s^{\alpha/(1-\alpha)} = (1 - s_0)(s_0 - s_3)^{\alpha/(1-\alpha)}$, от которой зависит среднедушевое потребление, достигает максимума при $s_0 = \alpha + s_3(1 - \alpha)$.

При $s_0 < \alpha + s_3(1 - \alpha)$, $dz(s_0)/ds_0 > 0$, и функция $z(s_0)$ возрастает, а при $s_0 > \alpha + s_3(1 - \alpha)$ убывает. Таким образом, мы получили оптимальное по критерию среднедушевого потребления значение обобщенной нормы сбережения. Если норма затрат на природный капитал $s_3 = 0$, то $s_0 = s$, и $s = \alpha$ в соответствии с «золотым правилом» экономического роста. Учитывая соотношение $s = s_0 - s_3$, получаем, что оптимальная норма затрат на основные фонды

$$s = \alpha(1 - s_3), \text{ и } s_3 = (1 - s/\alpha). \quad (5)$$

Как видно, значение оптимальной нормы вложений в основной капитал при $P > 0$ оказывается меньше, чем в классической модели Солоу. Она снижается за счет нормы вложений на возобновление природного капитала.

Кроме того, из уравнения (4) следует, что в состоянии равновесия $\left(\frac{dK_n}{dt} = 0\right)$ инвестиции в природный капитал должны быть равны сумме ВВП добывающей промышленности и ущерба от производственной деятельности, а для достижения положительного прироста K_n требуется выполнение неравенства

$$eP \geq Y_2 + uY. \quad (6)$$

Пусть d — доля добывающей промышленности в ВВП, величину u можно рассматривать как долю ВВП, которую нужно потратить на полную ликвидацию ущерба. Тогда неравенство (7) можно переписать в виде $es_3Y \geq dY + uY$, и отсюда $s_3 \geq (d + u)/e$.

Вопрос, насколько это реально для современной экономики, выходит за рамки данной работы. Очевидно, что чем выше объем производства, в том числе и добывающей промышленности, тем больший объем инвестиций в природный капитал требуется для достижения состояния равновесия. Во всяком случае, для России, где среднее значение доли добывающей промышленности в общем объеме промышленного производства равно 0,29 (за 2002—2005 гг.), даже не принимая во внимание размер экологического ущерба и полагая $e = 1$, достижение состояния равновесия откладывается на далекое будущее.

Поскольку возобновление природного капитала — сложный процесс, включающий в себя разработку и внедрение новых технологий и ряд других мероприятий, не связанных непосредственно с природой, то можно предположить, что инвестиции в природный капитал могут привести к появлению новых факторов экономического роста, которые в предлагаемой модели не учитываются. Соотношения (5) и (6) могут служить лишь ориентиром при оценке устойчивости развития экономической системы.

3. ОБ АДЕКВАТНОСТИ И ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛИ

Говоря об адекватности, вспомним, что входит в модель: ее основные составляющие — производственная функция, уравнения динамики основного и природного капитала и функция, определяющая численность занятых.

Адекватность применения производственной функции зависит от выбора факторов и доброкачественности статистического материала, возможность ее использования подтверждается многочисленными исследованиями.

Уравнения динамики основного капитала предположения (4) определяют динамику основного капитала в простейшем случае (допускающем аналитическое исследование), когда стоимость введенных новых фондов равна инвестициям в основные фонды народного хозяйства. В реальности все обстоит сложнее, и при численных расчетах можно пытаться использовать другие, статистически обоснованные, зависимости основных фондов от ВВП.

Уравнение динамики природного капитала основано на естественных предположениях, но его прямое использование вызывает определенные трудности. Размеры ущерба u и начального значения природного капитала K_{n0} , входящие в уравнение (4), неизвестны. Проблема их оценки широко обсуждается в литературе в связи с экологической коррекцией экономических показателей («зеленый» ВВП, показатель истинных сбережений), но нет единой методики, позволяющей вести статистический учет этих показателей. Тем не менее, если известны входящие в уравнения параметры, то уравнение (4) позволяет оценить изменение природного капитала. Кроме того, каждое из уравнений может быть использовано независимо от всего остального.

Что касается численности занятых, в ее пригодности для прогнозирования легко убедиться. Например, число занятых в экономике России в 1992 г. составляло (в тыс. чел.) 71 200,8, средний темп прироста числа занятых за следующие 13 лет равен — 0,00256512 [4]. Значение численности занятых в 2005 г., рассчитанное по формуле (2), равно 68865,64883, что отличается от реальных статистических данных на 0,3 %, и это несмотря на сложные процессы, происходящие в российской экономике: (в 1990—1998 годах численность занятых снижалась, с 1999 г. по настоящее время наблюдается рост). Заметим также, что в качестве темпа g прироста числа занятых можно использовать тренд, построенный на основе реальных данных.

Пример применения модели Солоу для анализа экономической ситуации в России приведен в работе [5], где показано, что существенным фактором роста ВВП с 1998 по 2003 г. был труд, представленный в модели [5] фондом заработной платы. Также в работе [5] в качестве фактора рассмотрен чистый экспорт.

Для проверки адекватности и возможности применения модифицированной модели Солоу в предположении, что инвестиции в природный капитал равны нулю, по данным [4], приведенным в таблице, нами были построены статистически значимые производственные



Основные показатели российской экономики

Годы	ВВП Y	Основные фонды в экономике (по полной учетной стоимости на начало года) K	Фонд оплаты труда L	Чистый экспорт X	Среднегодовая численность занятых в экономике, тыс. чел.	Значение Y , рассчитанное по формуле (8) на основе данных	
						статистических	расчетных
1997	2343,0	13286,0	61,0	51,0	62879	2339,88	2470,314
1998	2630,0	14126,0	64,6	175,0	61412	2604,09	2543,547
1999	4823,0	14246,0	106,4	823,0	63964	5092,47	4928,375
2000	7306,0	16605,0	147,3	1463,0	64327	7025,57	7014,422
2001	8944,0	20241,0	199,2	1134,0	65124	8734,18	8672,615
2002	10675,0	24431,0	259,6	1144,0	66266	10683,65	9995,536
2003	12829,0	30556,0	339,0	1515,0	67152	13074,22	11101,02

Примечание. Значения Y , K , L и X даны в трлн. руб., с 1998 г. — в млрд. руб. в текущих ценах.

функции, зависящие от тех же факторов, что и в работе [5], следующего вида:

$$Y = 1,09(K/L)^{-0,47}(Z/L)^{0,62}L, \quad (7)$$

$$Y = 59,74(K/L)^{-0,53}(Z/L)^{1,1}(X/L)^{0,068}L, \quad (8)$$

где Z — фонд заработной платы, X — объем чистого экспорта (включение этого фактора в модель можно обосновать тем, что значительная часть экспорта обеспечивается добывающей промышленностью).

Не ставя перед собой задачу анализа полученных функций, отметим, что основной капитал входит в них в отрицательной степени, что может быть отражением недостаточного использования фондов или каких-либо других причин. При расчете ВВП на основе данных [4] функции (7) и (8) приближают реальные значения ВВП с относительной ошибкой 4 и 2 % соответственно. Кроме того, чтобы рассчитывать показатели, используемые в модели во взаимосвязи, для приближенного представления значений основных фондов были использованы линейная зависимость $K_t = K_{t-1} + 0,67Y_{t-1} - 0,038K_{t-1} - 579,27$ и линейный тренд заработной платы. Такие приближения позволяют рассчитать ВВП с 1997 по 2003 г. с относительной ошибкой не более 5 % (см. таблицу).

Расчет на следующие два года дает ошибку в пределах 9 %. При изменении начала отсчета модель дает ошибку 5–6 % на интервале в 4–5 лет, при увеличении временного интервала ошибка резко растет. Это означает, что полученная функция не годится для точных долгосрочных прогнозов, а может лишь отразить некоторые тенденции, в том числе и катастрофические. Например, при рассмотрении гипотетического сценария с постоян-

ной убылью занятого в экономике населения с темпом прироста, равным $-0,04$, в течение 15 лет ВВП и основные фонды продолжают расти, а затем начинается деградация (рис. 2). В то же время, при отрицательном темпе прироста занятых $-0,5$ %, равном темпу прироста населения России в настоящее время, не происходит снижения ВВП в течение 40 лет при начальных условиях 2003 г.

Включение в рассмотрение природного капитала моделируется уменьшением доли ВВП, расходуемой на другие нужды, что в свою очередь сказывается на размере ВВП. Этот эффект не проявляется при рассмотрении данных, близких к реальным, поскольку, например, инвестиции в основные фонды природоохранного назначения составляют в последние годы не более 0,3 % ВВП и не более 4 % ВВП добывающей промышленности.

Рассмотренные примеры предназначены лишь для демонстрации возможностей применения предложенной модели с дополнением различными факторами и предположениями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная в работе модель позволяет оценить нормы затрат на основные фонды и природный капитал в состоянии равновесия. Внесение в модель дополнительных факторов и предположений делает затруднительным аналитическое исследование решения. Тем не менее, данная модель полностью или частично может быть использована для сценарных прогнозов тенденций экономического развития.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Наше общее будущее: Доклад Международной комиссии по окружающей среде и развитию.* — М.: Прогресс, 1989.
2. *Иохин В. Я. Экономическая теория.* — М.: Юрист, 2000. — 861 с.
3. *Лебедев В. В. Математическое моделирование социально-экономических процессов.* — М.: Изограф, 1997. — 224 с.
4. *Российский статистический ежегодник 2004.* Стат. Сб. / Росстат. — М., 2004.
5. *Трапезников И. Д. Анализ экономического развития России в 1992–2003 гг. с помощью инструментария модели Солоу* <<http://lab.obninsk.ru>>.

e-mail: lax@tomsk.su

Статья представлена к публикации членом редколлегии Р. М. Нижегородцевым. □

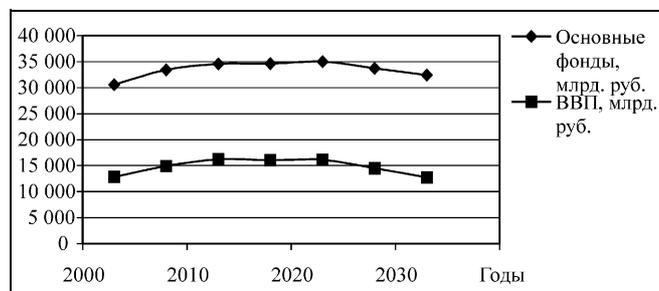


Рис. 2. Основные фонды и ВВП по результатам моделирования с убылью числа занятых на 4 % в год