

УДК 338.92
ББК 65.9(2Р)-2
И 585

Р е ц е н з е н т ы:
доктор экономических наук Г.М. Мкртчян,
кандидат экономических наук М.А. Ягольницер.

И 585 **Инвестиционный процесс и структурная трансформация российской экономики /** А.В. Алексеев, А.О. Баранов, Н.П. Дементьев и др. / под ред. д.э.н. А.В. Алексеева, к.и.н. Л.К. Казанцевой. – Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2020. – 402 с.

ISBN 978-5-89665-348-6

В монографии рассматривается долгосрочная динамика выпуска промышленной продукции в РФ и финансовый потенциал источников инвестиций; приведены данные прямых иностранных инвестиций; анализируется влияние антироссийских санкций на инвестиционную программу РФ; уделено внимание «зеленым» инвестициям в экономику России; приведен международный опыт инвестиционной активности на рынке интеллектуальной собственности; представлены результаты апробации методики оценки экономической эффективности инновационных проектов; показано, что основной капитал российской экономики оценен в разных и несопоставимых ценах, что искажает многие показатели; международными сопоставлениями подтверждается необходимость реализации мобилизационного сценария для России, предусматривающего резкое увеличение нормы накопления и величины капвложений в основные производственные фонды; показаны сильные и слабые стороны государственно-частного партнерства, изучены его возможности и потенциал использования.

Монография представляет интерес для научных работников, занимающихся анализом и моделированием экономических процессов, а также для преподавателей, аспирантов и студентов экономических вузов.

ISBN 978-5-89665-348-6

УДК 338.92
ББК 65.9(2Р)-2

Монография подготовлена в рамках выполнения плана НИР ИЭОПП СО РАН по проекту XI.170.1.1. (0325-2017-0007) Инновационные и экологические аспекты структурной трансформации российской экономики в условиях новой геополитической реальности № АААА-А17-117022250127-8.

© ИЭОПП СО РАН, 2020 г.

© Коллектив авторов, 2020 г.

Полная электронная копия издания расположена по адресу:

<http://lib.ieie.su/docs/2018/http://lib.ieie.nsc.ru/docs/2020/>

[Investicionniy_process_i_structurnaya_transformaciya/](#)

[Investicionniy_process_i_structurnaya_transformaciya_ros_econ.pdf](#)

ГЛАВА 13. ИНВЕСТИЦИИ, ИННОВАЦИИ, ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РОСТ И МОНЕТАРНАЯ ПОЛИТИКА В РАМКАХ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ОБЩЕГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Введение

В данной работе я рассматриваю теоретические предпосылки и возможности изучения связанных вопросов экономического роста, инвестиций, инноваций и монетарной политики в рамках современной модели общего экономического равновесия. Этот вопрос как нельзя актуален для описания и анализа современного состояния экономики России, имея в виду политику таргетирования инфляции Центральным банком РФ, общую нацеленность на переход на инновационный характер экономики и проблемы инвестиций вместе со слабым ростом экономики.

В качестве современных моделей общего экономического равновесия мной рассматриваются современные неокейнсианские модели деловых циклов и модели эндогенного роста Агиона и Ховитта [Aghion, Howitt, 1992, 1998, 2009], основанные на вертикальных инновациях. Современные неокейнсианские модели деловых циклов получили сильное развитие в последние годы и имеют опыт разработки и применения центральными банками ряда стран и прогнозными институтами. Это так называемые динамические модели общего экономического равновесия, сокращенно ДСОЭР, в английской аббревиатуре, DSGE (от Dynamic Stochastic General Equilibrium models).

Как отмечают Богомолова и Колюжнов [Богомолова, Колюжнов, 2013], согласно Del Negro и Schorfheide примерами таких моделей являются модель под названием New Area-Wide Model, разработанная в ЕЦБ, модель малой открытой экономики, разработанная в Sveriges Riksbank, и новая модель Федеральной Резервной Системы, под названием Estimated Dynamic Optimization-based Model [Del Negro, Schorfheide, 2012]. Как отмечает Товар, ДСОЭР модели для прогнозирования и формирования экономической политики также используют такие институты, как Bank of

Canada (ToTEM), Bank of England (BEQM), Norges Bank (NEMO), МВФ (GEM), European Commission (QUEST III) [Товар, 2009]. В связи с заинтересованностью правительств и активной поддержкой данных типов моделей центральными банками, вероятность осуществления прогнозов динамики макроэкономических переменных, полученных при помощи ДСОЭР моделирования существенно возросла.

Перед тем как приступить к описанию возможных моделей для описания экономического роста, прежде всего необходимо определиться с самим понятием экономического роста. Как можно описывать то, что мы наблюдаем в реальных данных? Можно ли прирост ВВП на душу населения за год описать при помощи модели DSGE? Вообще, современная макроэкономическая теория состоит из двух частей. Первая изучает так называемые циклы деловой активности и основные модели, используемые в рамках этого направления, это различные вариации моделей делового цикла, начиная с неоклассических моделей реального делового цикла и заканчивая различными неокейнсианскими монетарными DSGE моделями деловых циклов. Вторая часть изучает вопросы так называемого долгосрочного экономического роста и представлена различными моделями экономического роста, начиная с моделей экзогенного роста и заканчивая шумпетерианскими моделями эндогенного роста.

В свою очередь, временные ряды данных, описывающих поведение макроэкономических переменных на душу населения таких как выпуск, потребление, инвестиции, государственные закупки, экспорт, импорт рассматриваются в макроэкономике как состоящие из двух частей: циклической составляющей и трендовой составляющей. Существуют разные способы выделения тренда, такие как лог-линейный тренд, лог-квадратичный тренд, взятие первых разностей, фильтр Ходрика-Прескотта, и др. Все они, хоть и по-разному, разбивают данные на трендовую и циклическую составляющую, отделяют часть, отвечающую за долгосрочный рост, от циклической составляющей. Первая изучается в моделях экономического роста. Вторая – в моделях делового цикла, к которым относятся и DSGE модели.

Таким образом, вопрос заключается в том, что мы понимаем под наблюдаемым (или слабо наблюдаемым) экономическим ростом, или рост ВВП на душу населения в рамках фазы подъема в деловом цикле, или долгосрочный тренд. Оба способа понимания

и моделирования экономического роста важны и требуют отдельного рассмотрения и освещения методологических основ построения соответствующих моделей.

Что касается вопросов монетарной политики, то традиционно считается, что она не оказывает влияния на долгосрочный экономический рост и ее влияние ограничено деловыми циклами. Собственно, модели монетарной политики все завязаны на модели деловых циклов. Вопросы инвестиций считаются важными как в цикловой литературе, так и в литературе по экономическому росту. Вопросы инноваций и связанного с ними экономического роста отлично отражены в моделях эндогенного роста второй волны.

В данной работе я рассматриваю понятие долгосрочного экономического роста и основные типы его моделирования, последовательно развивая модели экономического роста в хронологическом и понятийном разрезе, даю характеристику альтернативного моделирования экономической динамики посредством моделей деловых циклов и делаю вывод о наиболее подходящем типе моделей для описания и анализа современного состояния экономики России.

13.1. Неоклассическая модель роста

Начнем с того, что собственно из себя представляет как таковой долгосрочный экономический рост и освещения основных способов моделирования, существующих на данный момент в литературе. Теория экономического роста – это часть макроэкономической теории, которая изучает долгосрочное поведение макроэкономических показателей во времени. Экономический рост обычно измеряется как годовой прирост ВВП страны ($\Delta Y/Y$). В настоящее время выделяется четыре основные теоретические парадигмы, в рамках которых моделируется долгосрочный экономический рост. Это неоклассическая модель роста, АК модель, модель продуктового разнообразия и шумпетерианская модель.

Отправной точкой любого исследования экономического роста является неоклассическая модель роста, которая подчеркивает роль накопления капитала. Эта модель, впервые построенная Рамсеем [Ramsey, 1928] на микроэкономических основаниях с эндогенной нормой сбережения, а затем Солоу [Solow, 1956] и Сваном [Swan, 1956] в рамках *ad hoc* моделирования с экзогенной нормой сбережения показывает, как экономическая политика

может увеличить темп роста экономики, заставив людей сберегать больше. Но эта модель также предсказывает, что такое увеличение не может длиться бесконечно. В долгосрочном плане, темп роста экономики вернется к темпу роста технологического прогресса, который неоклассическая теория рассматривает независимым от экономики, то есть экзогенным. Это является следствием уменьшающейся предельной отдачи, которая устанавливает верхний предел тому, сколько может произвести один работник, просто увеличивая и увеличивая количество используемого капитала при заданном уровне технологии.

Основными предположениями модели Солоу-Свана (1956) являются предположение о неоклассической производственной функции $Y(t) = F(K(t), A(t)L(t))$, где $Y(t)$ – уровень выпуска, $K(t)$ – запас (физического) капитала, $L(t)$ – количество занятого в производстве труда (численность работников и время, которое они работают), $A(t)$ – уровень знаний, или технологии (иногда называемой продуктивностью). Свойствами неоклассической производственной функции являются постоянная отдача от масштаба, в английской аббревиатуре, CRS (от Constant Returns to Scale): $F(\lambda K(t), \lambda A(t)L(t)) = \lambda F(K(t), A(t)L(t))$, $\forall \lambda > 0$, положительная и убывающая отдача от труда и капитала, то есть

$$MPK \equiv \frac{\partial F}{\partial K} > 0, \frac{\partial^2 F}{(\partial K)^2} < 0, \quad MPL \equiv \frac{\partial F}{\partial L} > 0, \frac{\partial^2 F}{(\partial L)^2} < 0,$$

и условия Инады:

$$MPK = \frac{\partial F}{\partial K} \xrightarrow{K \rightarrow 0} \infty, \quad MPK = \frac{\partial F}{\partial K} \xrightarrow{K \rightarrow \infty} 0,$$

$$MPL = \frac{\partial F}{\partial L} \xrightarrow{L \rightarrow 0} \infty, \quad MPL = \frac{\partial F}{\partial L} \xrightarrow{L \rightarrow \infty} 0.$$

В модели Солоу-Свана предполагается отсутствие оптимизации со стороны домашних хозяйств. Вместо этого экзогенно задается темп сбережения, определяющий *ad hoc* функцию сбережения $S = sY$, $0 \leq s \leq 1$, а следовательно, и потребления. Предположения об односекторном производстве, о закрытости экономики и отсутствии государственных закупок приводят к условию равновесия на рынке товаров: совокупное потребление (C)

плюс совокупные инвестиции (I) равны совокупному выпуску (Y), $Y = C + I$. Рост численности населения (L) в модели задается экзогенно, $(\ln L_t) = n > 0$, $L(0) = 1$. Рост уровня технологии (A) (технологический прогресс) также задается экзогенно $(\ln A_t) = x > 0$, $A(0) = 1$.

Таким образом, сокращенная форма модели, записанной в непрерывном времени выглядит как $Y = C + I$, где совокупные инвестиции состоят из изменения запаса капитала и покрытия его выбытия, $I = \dot{K} + \delta K$, где δ - коэффициент выбытия капитала, $S = sY$, $0 \leq s \leq 1$, где $S \equiv Y - C$, а значит $I = S$. Результирующий закон движения для агрегированного капитала выглядит как $\dot{K} = sY - \delta K = sF(K, AL) - \delta K$. Для анализа траекторий сбалансированного роста и стационарного (устойчивого) состояния модель переписывается в так называемой интенсивной форме, в терминах переменных, деленных на переменные, рост которых задан экзогенно, то есть на AL . Вводятся обозначения

$$\hat{k} = \frac{K}{AL}, \hat{y} = \frac{Y}{AL}, \hat{c} = \frac{C}{AL}.$$

В результате выводится фундаментальное дифференциальное уравнение модели Солоу-Свана в интенсивной форме:

$$\dot{\hat{k}} = sf(\hat{k}) - (g + n + \delta)\hat{k}.$$

Общей чертой неоклассических моделей роста является то, что они являются моделями экзогенного роста, то есть моделями, в которых долгосрочные темпы прироста всех макроэкономических переменных определяются экзогенно. Возможным фактором роста в моделях экзогенного роста является накопление капитала (которое положительно связано с экзогенно заданным темпом сбережения). В долгосрочном периоде этот фактор исчезает из-за убывающего предельного продукта капитала. Изменения в темпе сбережения (или иначе, накопления) позволяют только временное изменение в темпах прироста макроэкономических показателей на душу населения. Другими возможными факторами роста в моделях экзогенного роста являются технологический прогресс с экзогенно заданным темпом прироста и рост населения также с задаваемым экзогенно темпом прироста.

Положительный долгосрочный экономический прирост переменных на душу населения в этих моделях возможен только благодаря экзогенно заданному фактору роста (технологическому прогрессу). Без технологического прогресса невозможно поддерживать положительные темпы прироста показателей на душу населения в долгосрочном периоде только за счет накопления большего количества капитала на одного работающего. Фундаментальной причиной этого являются убывающая отдача факторов производства. Эти модели предсказывают, что без технологического прогресса экономика сойдется к устойчивому (стационарному) состоянию с нулевыми темпами прироста показателей на душу населения.

Пути решения этой проблемы предлагаются моделями эндогенного роста. Существует два способа генерации положительных долгосрочных темпов прироста переменных на душу населения. Первый – это ослабление предположения об убывающей предельной отдаче факторов производства в производственной функции. Примерами такого моделирования является *AK* модель Ромера [Romer, 1986] с экстерналиями такими, что на агрегированном уровне производственная функция не обладает убывающей предельной отдачей. Вторым способом является ввести в модель отдельный сектор производства с эндогенно растущим технологическим параметром. Технологический прогресс задаются в форме генерации новых идей. По сути, в рассмотрение вводится сектор научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР), в английской аббревиатуре R&D (Research and Development), производящий знания (новые технологии). Примерами таких моделей являются модель Агиона и Ховитта [Aghion, Howitt, 1992] и Ромера [Romer, 1990]. В моделях эндогенного роста нет стационарного состояния.

13.2. Модели эндогенного роста первой волны

В теории эндогенного роста выделяют две волны. Первая – это так называемая *AK* модель. В *AK* моделях не делается явного различия между накоплением капитала и технологическим прогрессом. В них просто суммируется вместе физический и человеческий капитал, накопление которого изучается неоклассической теорией с интеллектуальным капиталом, который накапливается в процессе технологического прогресса. При накоплении подоб-

ного агрегата, состоящего из разных видов капитала, гипотеза об убывающей предельной отдаче становится ненужной, поскольку частью этого накопления является сам технологический прогресс, который компенсируют убывающую отдачу от физического и человеческого капитала. Формально AK модель представляет из себя неоклассическую модель без убывающей предельной отдачи:

$Y = AK$, $\dot{K} = sY - \delta K$. Соответственно, темп прироста K задается как $g = \frac{\dot{K}}{K} = sA - \delta$. Значит, в модели нет динамики перехода

да и устойчивого (стационарного) состояния.

Неоклассическая модель, как отмечено выше, принимает темп технологического прогресса как экзогенный, не определяемый собственно экономикой. В действительности экономический прогресс зависит от экономических решений, поскольку он возникает в результате инноваций, совершаемых ищущими прибыль фирмами и зависит от финансирования науки, накопления человеческого капитала и другой подобной экономической деятельности. Уровень технологии, таким образом, является эндогенной переменной, определяемой внутри экономической системы. Теории роста должны учитывать эту эндогенность, поскольку темп технологического прогресса это и есть то, что определяет долгосрочный темп роста экономики.

Включение эндогенного технологического прогресса в теорию роста приводит к необходимости рассматривать возрастающую отдачу от масштаба. У людей должен быть стимул для улучшения технологии. Но поскольку производственная функция F в неоклассической модели характеризуется постоянной отдачей от масштаба, теорема Эйлера об однородных функциях говорит о том, что весь ВВП экономики будет выплачен владельцам труда и капитала, ничего не оставив для оплаты затрат на улучшение уровня технологии. Таким образом, теория эндогенного роста не может основываться на обычной теории конкурентного равновесия, согласно которой за каждую единицу фактора производства выплачивается предельный продукт этого фактора.

Решением этой проблемы является идея Эрроу [Arrow, 1962] – предположение о том, что технологический прогресс происходит как побочный продукт, следствие производства нового капитала, так называемое «learning by doing» – «обучение в процессе дея-

тельности». Предполагается, что процесс «обучения в процессе деятельности» является полностью экзогенным для фирм, которые его осуществляют. Каждая фирма максимизирует прибыль, выплачивая труду и капиталу их предельные продукты, не предлагая никаких дополнительных выплат за их участие в технологическом прогрессе. «Обучение в процессе деятельности» формирует основу первой АК модели. Примером производственной функции для фирмы i , участвующей в «обучении в процессе деятельности» является функция $Y_i = A(K)^{1-\alpha} K_i^{1-\alpha}$, где $K = \sum_i K_i$ - агрегированный капитал.

13.3. Модели эндогенного роста второй волны

Вторая волна теории эндогенного роста связана с моделями экономического роста, основанного на инновациях. В рамках второй волны выделяют два направления. Первое – это модель продуктового разнообразия Ромера [Romer, 1990] и второе – шумпетерианскую теорию роста Агиона и Ховитта [Aghion, Howitt, 1992]. Первое направление основано на моделировании инноваций, приводящих к росту производительности путем создания новых, не обязательно улучшенных вариаций, видов продуктов. Второе направление, пришедшее из теории отраслевых рынков, основано на моделировании улучшающих качество продуктов инновациях, которые делают старые продукты устаревшими. Это так называемое созидательное разрушение по терминологии Шумпетера.

Основная идея модели, основанной на продуктивном разнообразии, заключается в том, что экономический рост происходит вследствие расширяющегося множества специализированных промежуточных продуктов, то есть рост вызывается и поддерживается возрастающей специализацией (это старая идея Янга [Young, 1928]).

Инновации создают новые факторы производства, которые улучшают производительность. Для каждого нового продукта существуют постоянные издержки инновации (затраты на научное исследование), которые нужно осуществить лишь один раз. Под научным исследованием здесь понимается деятельность, которая приводит к инновациям, которые увеличивают запас технологических знаний. Под технологическим знанием понимается

список, набор планов, инструкций, описывающих как производить тот или иной продукт. Каждая дополнительная инновация приводит к одному такому новому плану, инструкции.

Отличие от *AK* модели заключается в наличии постоянных издержек на инновации. Постоянство этих затрат делает продуктовый рынок монополистически конкурентным, а не совершенно конкурентным. Положительная прибыль используется в качестве вознаграждения за создание нового продукта. Таким образом, экономика преодолевает проблему теоремы Эйлера об однородных функциях, что при совершенной конкуренции весь выпуск уходит владельцам труда и капитала, при этом не оставляя ничего для компенсации тем, кто предоставляет технологические знания, представляемые в модели параметром *A*.

Примером такой модели является простой вариант модели Ромера [Romer, 1990]. В этой модели присутствует три типа продуктов: труд, предлагаемый домашними хозяйствами, конечный продукт (который является товаром-измерителем), потребляемый, инвестируемый, и производимый при помощи труда и промежуточных продуктов, и сами промежуточные продукты, используемые при производстве конечного продукта, производимые только при помощи капитала, в качестве которого используется конечный продукт.

Численность населения, которая равняется *L*, постоянна во времени. Индивидуумы берутся одинаковые, бесконечно долго живущие с предпочтениями заданными функцией полезности от потребления в каждый момент времени:

$$\int_0^{\infty} \frac{c(t)}{1-\sigma} e^{-\rho t} dt, \sigma \geq 0, \sigma \neq 1,$$

где *c(t)* означает количество конечного продукта, потребляемого в момент времени *t*. Каждый индивидуум предлагает одну единицу труда за единицу времени, весь запас времени отведенный на работу и отдых, поскольку функция полезности в данной постановке не зависит от труда. Индивидуумы заняты в производстве конечной продукции.

Сектор конечной продукции является совершенно конкурентным. Конечный продукт производится в количестве *Y(t)* при помощи континуума промежуточных продуктов, определенного на

интервале $[0, A(t)]$, и труда, с производственной функцией, заданной выражением

$$Y(t) = L(t)^{1-\alpha} \int_0^{A(t)} x_i(t)^\alpha di, 0 < \alpha < 1,$$

где $x_i(t)$ обозначает количество промежуточного продукта i , $L(t)$ – количество труда, и $A(t)$ - количество вариаций (типов) продуктов. Под промежуточными продуктами можно понимать промежуточные товары, такие как энергия, или машины с мгновенным износом. Рынок труда является совершенно конкурентным, поэтому $L(t) = L, \forall t \geq 0$.

Увеличение количества промежуточных продуктов приводит к увеличению выпуска конечной продукции. Обозначим через $X(t)$ общее количество конечного продукта, используемого в производстве промежуточных продуктов. Одна единица конечного продукта производит одну единицу промежуточного продукта, поэтому $X(t) = \int_0^{A(t)} x_i(t) di$. В оптимуме, как мы покажем чуть ниже, все промежуточные продукты производятся в одинаковом количестве $x(t) = X(t)/A(t)$, отсюда из производственной функции следует, что

$$Y(t) = \int_0^{A(t)} \left(\frac{X(t)}{A(t)} \right)^\alpha di = L^{1-\alpha} A(t)^{1-\alpha} X(t)^{1-\alpha} X(t)^\alpha,$$

то есть выпуск возрастает с количеством промежуточных продуктов при заданных остальных факторах.

Фирма, изобретающая новый план, технологию производства, новый промежуточный продукт получает вечный патент на его производство. Таким образом, производство каждого промежуточного продукта монополизировано индивидуумом, который его создал. Монополист устанавливает цену и количество производимого продукта, чтобы максимизировать поток прибыли каждый момент времени $\pi_i(t) = p_i(t)x_i(t) - x_i(t)$ при заданной функции спроса. Функция спроса на промежуточный продукт i формируется в задаче максимизации прибыли в конечном секторе производства,

$$L(t)^{1-\alpha} \int_0^{A(t)} x_i(t)^\alpha di - \int_0^{A(t)} p_i(t) x_i(t) di - wL \rightarrow \max_{x_i(t) \forall i},$$

подразумевая приравнивание предельной производительности фактора i его цене:

$$\frac{\partial L(t)^{1-\alpha} \int_0^{A(t)} x_i(t)^\alpha di}{\partial x_i(t)} = L^{1-\alpha} \alpha x_i(t)^{\alpha-1} = p_i(t).$$

В итоге, условия первого порядка задачи монополиста в промежуточном секторе приводят к решению

$$x_i(t) = L\alpha^{\frac{2}{1-\alpha}}, i \in [0, A(t)], t \geq 0,$$

что говорит о том, что равновесное количество одинаково для каждого промежуточного продукта i в момент времени t . Подставив этот результат в выражение для прибыли в промежуточном секторе, мы получаем выражение для равновесного потока прибыли каждой фирмы в промежуточном секторе

$$\pi_i(t) = L^{1-\alpha} \alpha \left[L\alpha^{\frac{2}{1-\alpha}} \right]^\alpha - L\alpha^{\frac{2}{1-\alpha}} = L \frac{1-\alpha}{\alpha} \alpha^{\frac{2}{1-\alpha}} = \pi, \forall i, \forall t.$$

В секторе научно-исследовательских разработок предполагается, что количество новых промежуточных продуктов зависит от количества промежуточного продукта $R(t)$, использованного в исследовании: $\dot{A}(t) = \lambda R(t)$, где $\lambda > 0$ отвечает за производительность научно-исследовательского сектора.

Поскольку научно-исследовательский сектор является совершенно конкурентным с отсутствием барьеров на входе, то результирующая прибыль в нем равна нулю: $V(t)\dot{A}(t) = V(t)\lambda R(t) = R(t)$ (общий доход от инноваций равен общим издержкам), где $V(t)$ обозначает дискотированный поток прибыли связанный с инновацией времени t . Это, в свою очередь, означает, что $V(t) = \frac{1}{\lambda}$, предельный доход от вложений в научно-исследовательский сектор, совпадает с предельными издержками. $V(t)$ можно выразить

через поток прибыли, начиная с момента t изобретения инновации

$$V(t) = \int_t^{\infty} \pi e^{-r(\tau-t)} d\tau = \pi \left[-\frac{1}{r} e^{-r(\tau-t)} \right] \Big|_t^{\infty} = \frac{\pi}{r}$$

Объединяя это с предыдущим результатом, имеем $r = \lambda\pi$. Это уравнение отсутствия арбитража в научно-исследовательском секторе, показывающее, что инвесторы безразличны между инвестированием одной единицы конечного продукта в безрисковые облигации с процентной ставкой r и инвестированием ее в научно-исследовательский сектор, который приносит ожидаемый поток прибыли $\lambda\pi$. Подставляя выражение для прибыли, полученное в задаче промежуточного сектора, получаем

$$r = \lambda\pi = \lambda L \frac{1-\alpha}{\alpha} \alpha^{\frac{2}{1-\alpha}}.$$

Рассмотрение оптимизационной задачи домашнего хозяйства, приводит к получению уравнения Эйлера, или по-другому, правила Кейнса–Рамсея, обычному для ДСОЭР моделей на микроэкономических основаниях:

$$\frac{\dot{c}}{c} = \frac{1}{\sigma} (r - \rho).$$

Подставляем предыдущее выражение для процентной ставки r и получаем, что темп прироста ВВП на душу населения, а здесь он совпадает с темпом прироста потребления на душу населения, может быть выражен как

$$g = \frac{\lambda\pi - \rho}{\sigma} = \frac{\lambda L \frac{1-\alpha}{\alpha} \alpha^{\frac{2}{1-\alpha}} - \rho}{\sigma}.$$

Это выражение говорит о том, что темп прироста ВВП возрастает с ростом производительности научно-исследовательского сектора (λ), возрастает с увеличением размера экономики (L), так называемый эффект масштаба (который, однако, противоречит реальным данным), уменьшается с увеличением коэффициента дисконтирования полезности во времени (ρ), возрастает с ростом монопольной прибыли (π) в секторе производства промежуточных продуктов.

Существует большое число модификаций данной модели продуктового разнообразия, например собственно модель Ромера [Romer, 1990], модель Гроссмана и Хелпмана [Grossman, Help-

man, 1991], модель Джоунса [Jones, 1995], но все они характеризуются тем, что экономический рост в них происходит по двум причинам: во-первых, из-за возрастающей специализации труда, а во-вторых, из-за положительных экстерналий от производства знаний, которые связаны с тем, что каждый новый инноватор имеет доступ ко всему багажу накопленных знаний до него. Идеи могут быть свободно использованы новыми инноваторами в их собственной исследовательской деятельности, но в то же самое время никто, кроме изобретателя, не может извлекать монопольную ренту от им придуманной идеи, что и мотивирует исследовательскую деятельность по изобретению новых промежуточных продуктов.

Инновации в модели продуктового разнообразия называются горизонтальными, поскольку расширяют количество промежуточных продуктов, в то время как инновации в шумпетерианской модели носят название вертикальных. Шумпетерианская модель выросла из современной теории отраслевых рынков. Она основывается на понятии «созидательного разрушения», предложенного Шумпетером [Schumpeter, 1942]. Инновации, создающие экономический рост, создают новые технологии, тем самым уничтожая результаты предыдущих инноваций, делая их устаревшими. Существуют разные модификации модели, в зависимости от вида задаваемых производственных функций в различных секторах, факторов включаемых в процесс производства в каждом секторе и в зависимости от количества рассматриваемых производимых продуктов. Также, каждая модель может быть представлена в двух альтернативных постановках: в непрерывном или в дискретном времени. Модели в непрерывном времени легче решаются и раньше были основой моделирования экономического роста, однако при переходе к оцениванию параметров модели, используя реальные данные, неизбежно приходится дискретизировать результаты непрерывной модели, выписывая аппроксимации вокруг равновесной точки, траектории, что неизбежно сказывается на точности модели. Поэтому предпочтительней работать с дискретными моделями сразу, если иметь в виду оценивание параметров на реальных данных.

Рассмотрим пример многосекторной модели. По структуре модель идентична модели продуктового разнообразия, рассмотренной выше, с небольшими вариациями и имеет те же обозначения переменных. Так, численность населения, которая равняется

L , задана постоянной во времени, а функция полезности бесконечно долго живущих одинаковых потребителей предполагается линейной от потребления $U(c) = c$, моделируя нейтральных к риску агентов. Также, в этом случае коэффициент дисконтирования полезности совпадает с коэффициентом дисконтирования реальных доходов $\beta = \frac{1}{1+r}$. Опять же, каждый индивидуум предлагает одну единицу труда за единицу времени, весь запас времени отведенный на работу и отдых, поскольку функция полезности не зависит от труда.

Индивидуумы могут потреблять только конечный продукт, производимый совершенно конкурентными фирмами с использованием труда и промежуточных продуктов, задаваемых континуумом на интервале $[0, 1]$, с технологией, задаваемой производственной функцией:

$$Y(t) = L^{1-\alpha} \int_0^1 A_{it}^{1-\alpha} x_{it}^\alpha di, \quad 0 < \alpha < 1, \text{ где } x_i(t)$$

обозначает количество промежуточного продукта типа i в период t , L – количество труда, и A_{it} – показатель, отражающий качество промежуточного продукта.

Каждый промежуточный продукт производится его собственным монополистом с использованием конечного продукта в качестве единственного фактора в пропорции один к одному. Соответственно, ВВП (GDP) в экономике может быть вычислен как $GDP_t = Y_t - X_t$, где $X_t = \int_0^1 x_{it} di$ – количество конечного продукта, используемого в производстве промежуточных продуктов. Инновации улучшают качество промежуточных продуктов: инновация создает новый тип промежуточного продукта, производительность которого выше производительности предыдущего промежуточного продукта в γ раз, где $\gamma > 1$, то есть, в случае инновации $A_{it}^* = \gamma A_{i,t-1}$.

Монополист в промежуточном секторе выбирает количество $x_i(t)$, которое максимизирует его прибыль $\pi_i(t) = p_i(t)x_i(t) - x_i(t)$, где $p_i(t)$ – это обратная функция спроса. Последняя получается из

равенства цены каждого промежуточного продукта i его предельному продукту в секторе конечного производства

$$p_{it} = \frac{\partial Y_{it}}{\partial x_{it}} = \alpha (A_{it} L)^{1-\alpha} x_{it}^{\alpha-1},$$

что является условием оптимума задачи фирмы, производящей конечный продукт:

$$L^{1-\alpha} \int_0^1 A_{it}^{1-\alpha} x_{it}^{\alpha} di - \int_0^1 p_{it} x_{it} di - wL \rightarrow \max_{x_i(t) \forall i}.$$

Решая задачу фирмы в промежуточном секторе, получаем равновесное количество промежуточного продукта i

$$x_i(t) = A_{it} L \alpha^{\frac{2}{1-\alpha}}, i \in [0,1], t \geq 0$$

и равновесную прибыль

$$\begin{aligned} \pi_i(t) &= \left[\alpha (A_{it} L)^{1-\alpha} \left[\alpha^{\frac{2}{1-\alpha}} A_{it} L \right]^{\alpha-1} - 1 \right] \alpha^{\frac{2}{1-\alpha}} A_{it} L = \\ &= \underbrace{(1-\alpha) \alpha^{\frac{\alpha+1}{1-\alpha}}}_{\pi} A_{it} L = \pi A_{it} L, \forall i, \forall t. \end{aligned}$$

В этой модели поведение экономики зависит от агрегированной продуктивности

$$A_t = \int_0^1 A_{it} di.$$

Таким образом,

$$\begin{aligned} Y_t &= L^{1-\alpha} \int_0^1 A_{it}^{1-\alpha} x_{it}^{\alpha} di = \alpha^{\frac{2\alpha}{1-\alpha}} A_t L, \\ GDP_t &= Y_t - \int_0^1 x_{it} di = \alpha^{\frac{2\alpha}{1-\alpha}} (1-\alpha^2) A_t L Y_t \end{aligned}$$

и GDP_t пропорциональны эффективному предложению труда $A_t L$.

В каждый период времени в каждом промежуточном секторе существует один человек, предприниматель, у которого есть возможность совершить инновацию. Если он успешен при создании инновации, инновация создает новую версию промежуточного продукта, которая является более производительной, чем предыдущая, $A_{it} = \gamma A_{i,t-1}, \gamma > 1$. Если он не успешен, тогда в период t нет инновации и промежуточный продукт в период t остается тем, что и был в период $t-1$, поэтому $A_{it} = A_{i,t-1}$.

Для того чтобы совершить инновацию, предприниматель должен осуществить научно-исследовательскую деятельность – затратную деятельность, которая использует конечный продукт как единственный фактор производства. Вероятность μ_{it} того, что инновация произойдет в период t , задается как

$$\mu_{it} = \Phi\left(\frac{R_{it}}{A_{it}^*}\right),$$

где A_{it}^* – продуктивность в случае успеха. Функция $\Phi\left(\frac{R_{it}}{A_{it}^*}\right)$ является строго возрастающей, отражая тот факт, что чем больше ресурсов R_{it} предприниматель тратит на исследования, тем выше вероятность инновации, и что чем выше уровень технологии A_{it}^* ,

тем сложнее что-либо новое изобрести. $n_{it} \equiv \frac{R_{it}}{A_{it}^*}$ есть уровень

затрат с поправкой на продуктивность (по отношению к целевой продуктивности). Для определенности возьмем $\mu_{it} = \Phi(n_{it}) = \lambda n_{it}^\sigma$, где λ – параметр, отражающий производительность научно-исследовательского сектора, σ – эластичность, $0 < \sigma < 1$.

Если предприниматель в период t в секторе i успешно осуществляет инновацию, он становится монополистом в этом периоде, так как он сможет производить продукт i лучше других. В противном случае монополия производства предыдущего продукта i перейдет к кому-нибудь случайным образом.

Задача предпринимателя в научно-исследовательском секторе заключается в выборе уровня затрат R_{it} , которые максимизируют его ожидаемую прибыль

$$\Phi\left(\frac{R_{it}}{A_{it}^*}\right)\pi_{it}^* - R_{it} \rightarrow \max_{R_{it}},$$

где π_{it}^* – прибыль в случае успеха ($\pi_{it}^* = \pi A_{it}^* L$). Условия первого порядка для этой задачи задают уравнение арбитража в научно-исследовательском секторе $\Phi'(n_{it})\pi L = 1$, говорящее о том, что предельные издержки научно-исследовательской деятельности совпадают с ожидаемой предельной выгодой от инноваций. В результате

$$n_{it} = (\sigma\lambda\pi L)^{\frac{1}{1-\sigma}} = n, \text{ не зависит от } i \text{ и } t,$$

$$\mu_{it} = \lambda^{\frac{1}{1-\sigma}} (\sigma\pi L)^{\frac{\sigma}{1-\sigma}} = \mu, \text{ не зависит от } i \text{ и } t.$$

Как было показано выше, темп прироста ВВП на душу населения в этой модели определяется темпом прироста агрегированной продуктивности

$$g_t = \frac{A_t - A_{t-1}}{A_{t-1}}.$$

Для каждого сектора i $A_{it} = \gamma A_{i,t-1}$ с вероятностью μ , $A_{it} = A_{i,t-1}$ с вероятностью $1 - \mu$. По закону больших чисел, доля секторов, которая будет совершать инновации каждый период равна μ . Соответственно,

$$A_t = \int_0^1 A_{it} di = \mu\gamma A_{t-1} + (1-\mu)A_{t-1},$$

Значит,
$$g_t = \frac{\mu\gamma A_{t-1} + (1-\mu)A_{t-1} - A_{t-1}}{A_{t-1}} = \mu(\gamma - 1),$$

то есть в долгосрочном периоде темп прироста экономики равен частоте инноваций, умноженной на размер инновации. Подставив μ , получаем конечную формулу для темпа эндогенного роста

$$g_t = \lambda^{1-\sigma} (\sigma\pi L)^{\frac{\sigma}{1-\sigma}} (\gamma - 1).$$

Это выражение говорит о том, что в этой модели темп прироста ВВП на душу населения возрастает с ростом производительности научно-исследовательского сектора (λ), возрастает с увеличением размера инновации ($\gamma - 1$), возрастает с увеличением размера экономики (L), (опять имеем эффект масштаба, который, противоречит реальным данным), возрастает с ростом монопольной прибыли (π) в секторе производства промежуточных продуктов.

13.4. Модели деловых циклов

Альтернативным вариантом моделирования экономической динамики, уже в краткосрочном и среднесрочном плане, является моделирование, осуществляемое при помощи моделей деловых циклов. Основной идеей моделей деловых циклов является идея о накоплении и суммировании случайных возмущений, предложенная в работе Евгения Слуцкого [Слуцкий, 1927]. Основными составляющими модели делового цикла являются исходная модель общего экономического равновесия, построенная на так называемых микроэкономических основаниях, различные шоки и механизмы их распространения во времени. Существуют различные способы классификации шоков. Так, выделяют технологические шоки, погодные шоки и природные катастрофы, монетарные шоки, политические шоки, шоки предпочтений. Для каждого шока задается стохастический процесс, который описывает его поведение. Сама по себе величина шока каждый период времени является маленькой. Для того чтобы увидеть колебания в данных, напоминающие деловые циклы, необходимо, чтобы в модели присутствовал механизм распространения шоков. Он позволяет шоку, произошедшему сегодня, влиять на экономику, пусть и в меньшем объеме, и завтра, и послезавтра, и т.д., соответственно, когда шоки со всех предыдущих периодов, включая шок текущего периода, суммируются вместе в какой-то момент времени, влияние может быть весьма существенным.

В качестве механизмов распространения шоков выделяют механизм межвременного замещения труда и капитала, жесткие цены и несовершенство финансового рыночного механизма. Первый механизм встроен в любую развитую модель общего эконо-

мического равновесия на микроэкономических основаниях и по сути распространяет шоки через так называемые уравнения Эйлера, которые задают оптимальные траектории движения для факторов производства и выводятся из условий первого порядка оптимизационных задач экономических агентов. Этот механизм присутствует и в неоклассических *RBC* моделях, и в неокейнсианских *DSGE* моделях. Второй механизм жестких, или, в более общем случае, вязких цен, работает для неокейнсианских моделей, в которых явным образом моделируется неравновесное ценообразование, путем введения стохастического процесса, задающего вероятность того, что цена изменится до равновесной в данный период времени или останется на предыдущем уровне. Третий механизм характерен для поздних развитых монетарных неокейнсианских *DSGE* моделей. Смысл его заключается в моделировании возможностей невозврата кредитов, банкротств, которые по цепочке распространяются по всей экономике и во времени.

В зависимости от того какой тип шока рассматривается и какой механизм распространения вместе с лежащей в основе моделью общего экономического равновесия используется, можно определить тип рассматриваемой модели. Так, неоклассические модели реальных деловых циклов представлены в своей основе технологическими шоками и механизмом межвременного замещения труда и капитала. Неокейнсианские модели деловых циклов задействуют в своей основе монетарные шоки, технологические шоки и в дополнение к механизму межвременного замещения труда и капитала, механизм вязких цен. Более поздние неокейнсианские монетарные *DSGE* модели добавляют в рассмотрение третий механизм – несовершенство финансового рыночного механизма. Все виды шоков могут по необходимости добавляться в базовые версии моделей.

Детальное освещение базовой модели деловых циклов и базовой неокейнсианской модели и их недостатков представлено Колужновым и Богомоловой в [Колужнов, Богомолова, 2013]. По понятным причинам мы останавливаемся на рассмотрении неокейнсианской модели как более реалистичной. Базовая неокейнсианская модель, состоящая из трех уравнений в сокращенной форме, полностью абстрагируется от накопления капитала, поэтому не может использоваться в качестве модели, описывающей влияние инвестиций на деловой цикл.

К сожалению, включение накопления капитала в модель усложняет модель, затрудняет получение результатов модели в явном виде, существенно увеличивает размерность, препятствует получению аналитических результатов, отдавая преимущество численному расчету и имитационному моделированию. Однако, это тот путь, по которому движется современная макроэкономическая теория. В качестве примера неокейнсианской *DSGE* модели, позволяющей накопление капитала, можно привести работу Ивашенко [Ивашенко, 2015].

Монетарная политика в неокейнсианских *ДСОЭР* моделях естественным образом моделируется в виде правила для номинальной процентной ставки, зависящего от эндогенных переменных модели, таких как разрыв ВВП, инфляция, валютный курс, и т.д., и параметров собственно самой политики. Базовая *NK* модель, состоящая из трех уравнений: неокейнсианской кривой Филлипса, динамической линии *IS* и уравнения, задающего монетарную политику через изменение номинальной процентной ставки, долгое время использовалась в качестве «рабочей лошадки» для монетарной политики. В модель легко добавляются различные поведенческие аспекты, такие как неоднородность агентов и фирм, и неоднородность ожиданий и неоднородность в самом процессе формирования ожиданий. Беря за основу гипотезу о рациональных ожиданиях экономических агентов, модели расширяются на случай адаптивного (эконометрического) обучения. Вопросы устойчивости экономической динамики под воздействием разных правил монетарной политики и общие условия устойчивости динамики в *ДСОЭР* моделях различных типов рассмотрены Богомоловой и Колужновым в [Богомолова, Колужнов, 2011, 2019] и Колужновым в [Колужнов, 2011].

Заключение

Основной вывод, который можно сделать после рассмотрения существующих методов моделирования общего экономического равновесия с учетом экономического роста, инвестиций, инноваций и монетарной политики это то, что ни одна из рассмотренных моделей не может в полной мере охватить все аспекты российской экономической действительности и проводимой экономической политики. Наилучшим выходом из создавшейся ситуации видится развитие неокейнсианских *DSGE* моделей путем включения в них сектора создания инноваций путем созидательного раз-

рушения из моделей Агиона Ховитта. Таким образом, необходима некая синтетическая модель, объединяющая наиболее современные и продвинутые модели из теории экономического роста – модели Агиона и Ховитта с самыми продвинутыми современными моделями теории делового цикла – неокейнсианскими монетарными моделями делового цикла. Такая модель позволит одновременно и тестировать различные варианты монетарной (и фискальной) политики, получать точные прогнозы поведения макропоказателей как в краткосрочном, так и более отдаленном времени, позволит проследивать влияние изменений в инвестировании, фискальной (и все-таки, возможно, опосредованно) монетарной политики на долгосрочный экономический рост. Это отдельная исследовательская задача, которую необходимо решить в ближайшее время.

Источники информации

- Богомолова А.С., Колюжнов Д.В.** (2011) Стабильность экономической динамики в разрезе оптимальной монетарной политики // Вестник НГУ. Серия: Социально-экономические науки. – № 2. – С. 38–52.
- Богомолова А.С., Колюжнов Д.В.** (2019) Экономическая динамика при неоднородном адаптивном обучении: общие критерии и достаточные условия стабильности // Мир экономики и управления. – Т. 19. – Вып. 4. – С. 87–103.
- Иващенко С.М.** (2015) ДСОЭР-модель России с 5 секторами // Ec-01/15, Препринт Европейского университета в Санкт-Петербурге, факультет экономики, С.1-25 URL: http://www.eu.spb.ru/images/ec_dep/wp/Ec-01_15.pdf (30.10.2019)
- Колюжнов Д.В., Богомолова А.С.** (2013). Краткий обзор DSGE-моделирования // Инновационный потенциал экономики России: состояние и перспективы: сб. науч. тр. / отв. ред. А.В. Алексеев, Л.К. Казанцева; ИЭОПП СО РАН. – Новосибирск. – С. 298–318.
- Колюжнов Д.В.** (2011) Условия стабильности экономической динамики при неоднородном обучении экономических агентов // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Социально-экономические науки. – Т. 11. – Вып. 1. – С. 70–81.
- Слуцкий Е.Е.** (1927) Сложение случайных причин как источник циклических процессов // Вопросы конъюнктуры. – Т. 3. – Вып. I. – С. 34–64.
- Aghion P., Howitt P.** (1998). *Endogenous Growth Theory*. Cambridge, Mass. MIT Press.
- Aghion P., Howitt P.** (1992). A Model of Growth through Creative Destruction // *Econometrica*. Vol. 60 – № 2. – Pp. 323–51.
- Aghion P., Howitt P.** (2009). *The Economics of Growth*. MIT Press.

- Adolfson M., Andersson M.K., Lind'e J., Villani M., Vredin A.** (2007). Modern Forecasting Models in Action: Improving Macroeconomic Analyses at Central Banks // *International Journal of Central Banking*. – Vol. 3 – № 4. – Pp. 111–144.
- Arrow K.J.** (1962) The Economic Implications of Learning by Doing // *The Review of Economic Studies*. – Vol. 29. – № 3. – Pp. 155–173.
- Del Negro M., Schorfheide F.** (2012). DSGE model-based forecasting // *Staff Reports* 554, Federal Reserve Bank of New York.
- Grossman G.M., Helpman E.** (1991). Quality Ladders in the Theory of Growth // *The Review of Economic Studies*. – Vol. 58 – №. 1. – Pp. 43–61.
- Jones C.I.** (1995) R&D-Based Models of Economic Growth // *Journal of Political Economy* – Vol. 103 – № 4. – Pp. 759–784.
- Ramsey F.P.** (1928) A Mathematical Theory of Saving // *Economic Journal*. – Vol. 38. – Pp.543–559.
- Romer P.M.** (1990) Endogenous Technological Change // *Journal of Political Economy*, University of Chicago Press – Vol. 98. – № 5. – Pp. 71–102.
- Schumpeter J.A.** (1942) *Capitalism, Socialism and Democracy*. Vol. 36. Harper & Row, New York. – Pp. 132–145.
- Solow R.M.** (1956) A Contribution to the Theory of Economic Growth // *The Quarterly Journal of Economics*. – Vol. 70. – № 1. – Pp 65–94.
- Swan T.W.** (1956) Economic Growth and Capital Accumulation // *The Economic Record*. – Vol. 32. – № 2. – Pp. 334–361.
- Tovar C.E.** (2009). DSGE Models and Central Banks // *Economics – The Open-Access, Open-Assessment E-Journal*, Kiel Institute for the World Economy. – Vol. 3. – № 16. – Pp. 1–31.
- Young A.A.** (1928) Increasing Returns and Economic Progress // *History of Economic Thought Articles*. – Vol. 38. – Pp. 527–542.