

Построение динамической стохастической модели общего равновесия для экономики с высокой зависимостью от экспорта нефти

Полбин А.В.

В настоящей работе описывается динамическая стохастическая модель общего равновесия для малой открытой экономики с высокой зависимостью от экспорта нефти. Особенностью предлагаемой модели является многоотварная структура, в рамках которой нефть как экспортируется, так и используется в качестве фактора производства торгуемых и неторгуемых товаров. В модели также предполагается существование номинальных и реальных жесткостей, наиболее часто используемых в литературе: жесткостей цен и заработных плат, привычек в потреблении домохозяйств, издержек на установку капитала и издержек загрузки капитальных мощностей. В качестве одного из практических применений откалиброванной модели анализируется эффект от изменения мировых цен на нефть.

Ключевые слова: динамические стохастические модели общего равновесия; малая открытая экономика; деловые циклы; цены на нефть.

Введение

В последние годы динамические стохастические модели общего равновесия (DSGE) занимают важное место в современном макроэкономическом анализе. Модели данного класса предлагают формальный экономико-математический аппарат, как для анализа источников флуктуации экономики, так и для анализа макроэкономической политики. Теоретической основой рассматриваемого вида анализа являются микроэкономические обоснования, в рамках которых динамика экономической системы представляет собой результат некоторой оптимизационной деятельности экономических агентов.

Автор выражает благодарность Дробышевскому С.М., Синельникову-Мурылеву С.Г., Энтову Р.М. и всем участникам научных семинаров Института экономической политики имени Е.Т. Гайдара за конструктивную критику и плодотворные обсуждения, а также анонимному рецензенту за ценные замечания и вопросы.

Полбин Андрей Владимирович – аспирант, научный сотрудник Института экономической политики имени Е.Т. Гайдара, научный сотрудник Российской академии народного хозяйства при Президенте Российской Федерации. E-mail: apolbin@gmail.com

Статья поступила в Редакцию в апреле 2013 г.

Данная теоретическая концепция обеспечивает «структурность» параметров модели, которые определяются предпочтениями экономических агентов и технологиями, что наряду с рациональными ожиданиями достаточно хорошо выдерживает критику Лукаса [47]. История становления DSGE-моделей восходит к теории реального бизнес-цикла, разработанной Кидландом и Прескоттом [39]. Однако современные модели строятся в тесной интеграции с неокейнсианским подходом, при котором в модели вводится широкий набор реальных и номинальных «жесткостей». Данные свойства позволяют обеспечить хорошую согласованность моделей с эмпирическими данными и способность прогнозировать временные ряды не хуже, чем сугубо эконометрические модели (см., например: [3; 17; 67–69]).

Внушительные успехи в спецификации, оценке DSGE-моделей и анализе экономической политики в рамках данного подхода в академической литературе привели к широкому спросу на рассматриваемый вид анализа со стороны центральных банков и других институтов, как ведущих, так и развивающихся экономик. Примерами могут служить модели Банка Канады ToTEM [52], ФРС США SIGMA [22] и Европейского Центрального Банка NAWM [18], разработанные для отдельных экономик, и модели мировой экономики МВФ GEM [55] и GIMF [40].

Модели, разрабатываемые в центральных банках, в основном являются достаточно детализированными и имеют очень большую размерность, что сильно снижает возможность непосредственной их оценки на эмпирических данных. Обычно авторы калибруют параметры, основываясь на оценках, полученных из академической литературы. Одним из используемых методов эмпирической верификации является сравнение функций импульсного отклика на некоторые шоки экономики, полученных в рамках численных симуляций, с результатами более простых моделей, например, основанных на векторных авторегрессиях.

В настоящей статье предлагается динамическая стохастическая модель общего равновесия малой открытой экономики с несколькими производственными секторами. Мы будем рассматривать производство торгуемых и неторгуемых товаров и нефти. Нефть в модели экспортируется и используется в качестве фактора производства отечественных торгуемых и неторгуемых товаров. В модели также предполагается существование номинальных и реальных жесткостей, наиболее часто используемых в литературе: жесткостей цен и заработных плат, привычек в потреблении домохозяйств, издержек на установку капитала и издержек загрузки капитальных мощностей.

При построении модели делается попытка провести некоторую связь с российской экономикой. В частности, на этапе калибровки ряда параметров настоящей модели была сделана попытка отразить структуру экономики России. Предлагаемая модель остается достаточно стилизованной и является некоторым промежуточным результатом построения более реалистичной модели, которая позволила бы анализировать действительность российской экономики.

Работа построена следующим образом. В первой части описывается теоретическая структура модели, во второй – калибровка параметров, в третьей анализируется влияние на экономику роста мировых цен на нефть.

1. Описание теоретической модели

В данной части работы приводится описание предлагаемой динамической стохастической модели общего равновесия для экономики с высокой зависимостью от экспорта нефти. Модель представляет собой малую открытую экономику с четырьмя экономическими агентами: домохозяйствами, фирмами, государством и центральным банком. Поведение первых двух типов экономических агентов является результатом оптимизационной деятельности. Домохозяйства максимизируют свое благосостояние, а фирмы свою стоимость. Поведение же центрального банка и фискального сектора задается с помощью экзогенных правил политики.

Особенностью модели является многотоварная структура. В экономике различаются четыре типа товаров: отечественные торгуемые и неторгуемые товары, импортные товары и нефть. Первые три товара используются для конечного потребления домашними хозяйствами, государством и идут на формирование инвестиций. При этом неторгуемые товары могут потребляться только внутри страны, торгуемые отечественные товары же могут также экспортироваться. Нефть используется как фактор производства отечественных благ и экспортируется.

Моделирование нефти как отдельного товара обусловлено высокой долей нефти и газа в экспорте нашей страны и высокой статьёй расходов на энергоресурсы у потребителей внутри страны. Под нефтью в модели мы понимаем нефть, нефтепродукты и газ и трактуем данный товар как энергию. Рассмотрение нефти в качестве отдельного фактора производства позволяет моделировать спрос на данный ресурс внутри страны и анализировать влияние изменения цен на нефть на международном рынке, как со стороны изменения агрегированного спроса, так и со стороны изменения издержек производства. Данная спецификация модели также позволяет анализировать экономическую политику в области энергетики.

Рассмотрение энергии как отдельного фактора производства в экономической литературе исходит к первому шоку цен на нефть 1973 г. После данного события было проведено множество исследований по оценке производственных функций и эластичностей замещения между энергией и другими факторами производства (см., например: [9; 10; 29; 32]). Как отмечает Солоу [70], данные эластичности являются ключевыми величинами для понимания макроэкономических эффектов от шоков цен на энергию и анализа экономической политики в области энергетики.

Рассматриваемый подход не является новым и в рамках DSGE-моделирования. Для анализа эффектов от изменения цен на нефть энергия включалась в производственную функцию в работах Кима и Лоунгани [37], Ротемберга и Вудфорда [61] и Финна [24]. Карлстром и Фуерст [16] и Ледук и Сил [44] анализировали денежно-кредитную политику при наличии шоков цен на нефть. Но в большей части работ анализ посвящен странам, импортирующим нефть, а не экспортирующим.

При моделировании деятельности фирм в торгуемом и неторгуемом секторах экономики предполагается, что в каждом секторе действует континуум фирм на рынке монополистической конкуренции. В предлагаемой модели мы отойдем от наиболее часто используемой предпосылки о том, что решение о накоплении капитала принимают домохозяйства, а фирмы арендуют капитал на конкурентном рынке. По аналогии с работами [4; 74] будем предполагать, что капиталом владеют фирмы, и инвестиционные решения

осуществляются на уровне отдельных фирм. Фирмы, в свою очередь, для финансирования инвестиционных проектов выпускают акции, которыми владеют домохозяйства.

Долговое финансирование капитала в данной работе рассматриваться не будет, так как, согласно теореме Мондильяни – Миллера [49], когда финансовые рынки совершенны и при отсутствии налогов, рыночная оценка капитала не зависит от способа финансирования инвестиций. В настоящей работе мы рассматриваем только два типа налогов: чистый налог на домохозяйства и таможенную пошлину на экспорт нефти, которые не меняют выводы данной теоремы. Несомненно, рассматриваемая предпосылка является сильным упрощением реальности.

В модели предполагается, что фирмы действуют в интересах собственников и максимизируют свою стоимость, которая определяется как дисконтированная сумма денежных потоков. В своей работе Модильяни и Миллер [50] показывают эквивалентность альтернативных подходов к оцениванию стоимости фирмы. Так, например, максимизация дисконтированной суммы денежных потоков и потока дивидендов будут приводить к эквивалентным результатам.

Концепция максимизации стоимости фирмы лежит в основе неоклассической теории инвестиций (см., например: [30; 33; 46]). Основное отличие от неоклассической теории в рассматриваемой в настоящей статье задаче фирмы заключается в том, что фирмы действуют на рынке монополистической конкуренции и принимают решения о ценах на свою продукцию, что согласуется с работами [4; 74].

В постановке задачи, при которой фирмы владеют капиталом, уровень капитала оказывается детерминированным в текущем периоде на уровне фирм, т.е. отдельная фирма может снизить или увеличить уровень своего капитала только в будущих периодах посредством соответствующих инвестиционных решений. В модель также вводятся издержки на установку капитала, что обеспечивает постепенное изменение капитала и инвестиций в ответ на фундаментальные шоки экономики. Данные свойства естественным образом ограничивают мобильность капитала между секторами. Так, например, если произошел шок спроса на товары неторгуемого сектора и капитал в этом секторе стал более производительным, то при отсутствии полной мобильности только с течением времени капитал из торгуемого сектора может перетечь в неторгуемый.

С точки зрения моделирования жесткости ценовых показателей в литературе по тематике DSGE наиболее популярными являются два механизма ценообразования: Кальво [14] и Ротемберга [59]. В первом подходе предполагается, что отдельная фирма в каждый период времени может изменить (оптимизировать с точки зрения максимизации прибыли) цену с некоторой экзогенной вероятностью. В данной концепции в каждый период времени цены меняет только определенная доля фирм, и естественным образом возникает понятие средней продолжительности ценового контракта.

Таким образом, параметры механизма изменения цен по Кальво могут быть непосредственно приведены в соответствие с фактами относительно средней длительности ценовых контрактов, полученных на основе микроданных. Но, в основном, эконометрические оценки макроэкономических моделей на агрегированных данных приводят к более низкой частоте изменения цен по сравнению с исследованиями на микроданных (см., например: [11; 28; 38]).

На сегодняшний день существует множество модификаций базового механизма ценообразования Кальво. Так, для учета высокой инерционности инфляции в модели вво-

дятся механизмы, обеспечивающие включение первого лага инфляции в кривую Филлипса. Например, в работе [17] фирмы, которые не оптимизируют свою цену в текущем периоде, индексируют ее на уровень инфляции предыдущего периода, а в работе [26] предполагается, что часть фирм имеют «назадсмотрящие» ожидания (backward-looking expectations).

В механизме ценообразования по Ротембергу все фирмы оптимизируют и изменяют цену на свой товар в каждый период времени, но при этом изменение цены связано с некоторыми реальными издержками (в терминах товаров и услуг), которые, как обычно предполагается, являются квадратичной функцией от изменения цены. Чем больше фирма изменяет свою цену относительно цены предыдущего периода, тем большие издержки связаны с данным изменением. В рассматриваемом подходе оптимальным для фирм является постепенное изменение своей цены в ответ на какой-либо шок, а не одномоментное изменение ее до «эффективного» уровня. Таким образом, из-за присутствия реальных издержек изменения цен инфляция будет приводить к дополнительному потреблению ресурсов, что, в свою очередь, будет вести к потерям в общественном благосостоянии. В механизме ценообразования по Кальво также возникают потери в благосостоянии, связанные с неэффективной дисперсией в ценах (см., например: [62; 73]).

Несмотря на концептуальное различие в подходах моделирования жесткости цен по Кальво и Ротембергу, оба подхода приводят к достаточно схожим результатам на агрегированном уровне. Большинство DSGE-моделей линеаризуются до первого порядка, после чего производится их оценивание. В рамках линеаризованной системы оба механизма ценообразования приводят к одинаковым линейным уравнениям, описывающим динамику экономической системы (см., например: [58; 60]). При некоторых условиях оба подхода могут также приводить к одинаковым потерям в общественном благосостоянии (см., например: [45; 53]).

В данной работе при моделировании жесткостей цен и заработных плат мы будем использовать механизм ценообразования Ротемберга. Это, прежде всего, обусловлено сложностью получения решения с ценообразованием по Кальво в модели, в которой фирмы владеют капиталом. В стандартной постановке задачи, при которой фирмы арендуют однородный капитал и труд на конкурентных рынках факторов производства, все фирмы сталкиваются с одними и теми же предельными издержками, что обеспечивает установление одной и той же цены фирмами, которые оптимизируют цену в данный период. Такая симметричность в ценообразовании обеспечивает возможность получения решения модели, которое может быть описано нелинейными уравнениями в рекурсивной форме. В случае же, когда фирмы владеют капиталом при ценообразовании по Кальво, оптимизирующие цену в данный период времени фирмы выбирают различные цены в зависимости от того, сколько капитала накоплено ими на начало периода. Данная особенность сильно усложняет анализ, и на сегодняшний день решение модели с ценообразованием по Кальво, в который фирмы владеют капиталом, было получено только в рамках линеаризованной системы уравнений (см., например: [4; 74]).

В настоящей же статье предлагается модель, которую можно использовать для анализа как краткосрочных, так и перманентных шоков на экономику. Для анализа второго типа шоков необходимо иметь исходную нелинейную систему уравнений, описывающих динамику экономических переменных, что и обуславливает выбор в пользу ценообразования по Ротембергу. Альтернативой мог бы служить, к примеру, подход к ценообразованию Тейлора [71], который использовался при оценке DSGE-модели в работе [21] с ограниченной мобильностью факторов производства между отдельными фирмами.

Ниже приводится математическое описание экономической деятельности всех экономических агентов, учитываемых в нашей модели.

1.1. Домохозяйства

Предполагается, что в экономике существует континуум домохозяйств $i \in [0, 1]$, функция полезности которых имеет следующий вид:

$$(1) \quad U_t(i) = E_t \sum_{s=0}^{\infty} \beta^s \left(\log(C_{t+s}(i) - H_t) - \frac{\phi}{1+\psi} l_{t+s}^{1+\psi}(i) \right).$$

Полезность домохозяйства положительно зависит от отклонения потребления $C_t(i)$ от переменной «внешних» привычек потребления H_t (*external habits*) и отрицательно от количества отработанных часов $l_t(i)$. E_t – математическое ожидание в момент времени t ; β – субъективный коэффициент дисконтирования, отражающий межвременные предпочтения домохозяйства; ψ – величина, обратная к эластичности предложения труда по заработной плате; ϕ – нормировочная константа.

Как отмечает Фюрер [25], моделирование функции полезности с привычками в потреблении получило широкое распространение в контексте DSGE-моделирования в связи со способностью данного подхода воспроизводить постепенный куполообразный (*hump-shaped*) отклик реальных расходов на шоки экономики. Также использование функции полезности с привычками в потреблении получило широкое распространение при объяснении загадки премии за риск по акциям (*equity premium puzzle*) (см., например: [1; 15; 20; 72]). При спецификации привычек в потреблении будем следовать Сметсу и Воутерсу [67] и предположим, что переменная H_t прямо пропорциональна агрегированному потреблению в предыдущий момент времени:

$$(2) \quad H_t = hC_{t-1}.$$

Предпосылка о континууме домохозяйств в настоящей модели необходима именно для моделирования жесткости заработных плат. В дальнейшем мы будем рассматривать симметричное равновесие, в котором все домохозяйства идентичны и принимают одинаковые решения относительно управляемых переменных.

Для моделирования жесткости заработных плат используем подход Эрцгега и др. [23], который получил широкое применение в современной литературе, и предположим, что домохозяйства предлагают на рынке труда дифференцированный труд и наделены некоторой монопольной властью. Предполагается, что отдельное домохозяйство продает свой дифференцированный труд $l_t(i)$ совершенно конкурентной репрезентативной фирме («агентству занятости»), которая трансформирует данные услуги труда в единый гомогенный труд L_t , используя следующую технологию Диксита – Стиглица:

$$(3) \quad L_t = \left[\int_0^1 (l_t(i))^{\frac{\eta_L - 1}{\eta_L}} di \right]^{\eta_L / (\eta_L - 1)},$$

где η_L – эластичность спроса на труд домохозяйства по зарплате.

Далее «агентство занятости» продает гомогенные услуги труда L_t фирмам в торгуемом и неторгуемом секторах по ставке заработной платы W_t , действуя на рынке совершенной конкуренции. В рамках текущей версии модели предполагается абсолютная мобильность труда, из чего следует выравнивание зарплаты между секторами. Предположение об абсолютной мобильности труда является достаточно жесткой предпосылкой, так как перетекание трудовых ресурсов между различными производственными секторами является достаточно долгосрочным процессом. Так, например, на основе эконометрических оценок для экономики США Ли и Волпин [43] приходят к выводу, что переход трудовых ресурсов между секторами, производящими товары и услуги, сопряжен со значительными издержками, как на индивидуальном, так и на агрегированном уровнях. Тем не менее данная предпосылка часто используется на практике, и мы принимаем ее в качестве отправной точки исследования.

Для моделирования ограниченной мобильности труда в модель можно было бы ввести некоторые предпочтения домохозяйств относительно работы в торгуемом и неторгуемом секторах, в рамках которых домохозяйствам было бы оптимально работать в обоих секторах экономики даже при разрыве в заработных платах [31]. Либо можно было бы ввести некоторые издержки, которые несут домохозяйства при «переходе» из одного производственного сектора в другой (см., например: [65]). Но более обоснованным с микроэкономической точки зрения, на наш взгляд, было бы введение в модель рынка труда и безработицы с издержками поиска работы (см., например: [12; 27; 51]).

Из оптимизационной задачи «агентства занятости» следует функция спроса на труд отдельного домохозяйства:

$$(4) \quad l_t(i) = \left(\frac{W_t(i)}{W_t} \right)^{-\eta_L} L_t,$$

где $W_t(i)$ – номинальная зарплата i -го домохозяйства.

Можно показать, что агрегированный уровень зарплаты определяется выражением

$$(5) \quad W_t = \left[\int_0^1 (W_t(i))^{1-\eta_L} di \right]^{\frac{1}{1-\eta_L}}.$$

В рамках монополистической конкуренции на рынке труда домохозяйства принимают решение не по количеству труда, которое предлагается на рынке, а по номинальной заработной плате. При этом мы вводим жесткость заработных плат в модель по Роттембергу [59], предполагая, что изменение номинальной заработной платы по сравнению с долгосрочным ростом $\overline{\pi^W}$ номинальных заработных плат связано с некоторыми из-

держками, которые могут быть формализованы в виде выпуклой квадратичной функции:

$$(6) \quad \Psi_t^W \left(\frac{W_t(i)}{W_{t-1}(i)} \right) = \frac{\Psi_W}{2} \left(\frac{W_t(i)}{W_{t-1}(i)} - \overline{\pi^W} \right)^2 W_t L_t.$$

Данные издержки связаны с покупкой товаров и услуг неторгуемого сектора в размере $\frac{\Psi_W}{2} \left(\frac{W_t(i)}{W_{t-1}(i)} - \overline{\pi^W} \right)^2 \frac{W_t L_t^N}{p_t^N}$ и торгуемого отечественного сектора в размере $\frac{\Psi_W}{2} \left(\frac{W_t(i)}{W_{t-1}(i)} - \overline{\pi^W} \right)^2 \frac{W_t L_t^{TD}}{p_t^{TD}}$, что является безвозвратными потерями. Здесь переменные L_t^N и L_t^{TD} обозначают отработанные часы в неторгуемом и торгуемом отечественных секторах соответственно, p_t^N и p_t^{TD} – цены неторгуемых и торгуемых отечественных товаров.

Задача домохозяйства сводится к максимизации благосостояния (1) при динамических бюджетных ограничениях

$$(7) \quad p_t^c C_t(i) + B_t(i) + S_t B_t^*(i) = W_t(i) l_t(i) + R_{t-1} B_{t-1}(i) + S_t R_{t-1}^* B_{t-1}^*(i) + \\ + Div_t(i) - T_t(i) - \Psi_t^W (W_t(i)/W_{t-1}(i)) - \Psi_t^B (S_t B_t^*(i)/p_t^Y Y_t),$$

где p_t^c – индекс потребительских цен; p_t^Y – дефлятор ВВП; $B_t(i)$ – номинальная стоимость облигаций, приобретенных домохозяйством на внутреннем рынке; $B_t^*(i)$ – номинальная стоимость номинированных в иностранной валюте облигаций, приобретенных домохозяйством на внешнем рынке; S_t – номинальный обменный курс; R_{t-1} , R_{t-1}^* – валовые номинальные доходности по внутренним и внешним облигациям; $Div_t(i)$ – дивиденды со стороны фирм; $T_t(i)$ – чистые налоги со стороны государства; $\Psi_t^B(\bullet)$ – издержки по размещению (покупке) облигаций на внешнем рынке; Y_t – реальный ВВП.

Последнее слагаемое в выражении (7) предполагает, что если домохозяйства изменяют уровень своих сбережений (задолженности) относительно некоторого долгосрочного уровня, то несут издержки, которые могут быть формализованы в виде выпуклой квадратичной функции от уровня чистых иностранных активов. Данные издержки могут быть обусловлены существованием финансового посредника, который проводит операции на международном финансовом рынке. Одновременно, при увеличении внешнего долга национальной экономики иностранные инвесторы могут требовать премию за риск относительно безрисковой международной ставки доходности. Выпуклость функции издержек обуславливает зависимость эффективной процентной ставки по международным облигациям от уровня национального долга (сбережений).

В рамках рассматриваемой модели будем предполагать, что долгосрочный уровень чистых иностранных активов равен нулю. Данное предположение может показаться спорным на фоне значительного накопления чистых иностранных активов, устойчивого профицита счета текущих операций и накопления золотовалютных резервов отечественной экономики в период роста мировых цен в 2000-е годы. Но здесь речь идет именно о долгосрочном равновесном уровне чистых иностранных активов. Как будет следовать из анализа функций импульсного отклика в ответ на рост мировых цен на нефть, которому посвящен раздел 3 настоящей работы, модель, в целом, согласуется с данными закономерностями. И ситуацию в период роста мировых цен в 2000-е годы, на наш взгляд, следует рассматривать как равновесную реакцию экономики на последовательность реализаций шоков мировых цен на нефть (в том числе и других шоков), чему не противоречит предположение о нулевом долгосрочном уровне чистых иностранных активов. К вопросу же о золотовалютных резервах мы еще вернемся в подразделе 1.5 при описании деятельности центрального банка.

Издержки по размещению (покупке) облигаций на внешнем рынке вводятся в модель в значительной степени из технических соображений. Они обеспечивают существование долгосрочного равновесия, не зависящего от начальных условий, и избавляют от нестационарности динамики чистых иностранных активов и потребления. Отсутствие же хорошо определенного долгосрочного равновесия сильно осложняет анализ, так как большинство численных методов, используемых на практике при разрешении и особенно оценке DSGE-моделей, основаны на линеаризации модели до некоторого порядка около долгосрочного равновесия.

Детальный обзор методов по замыканию моделей малых открытых экономик представлен в работе [64]. Авторы рассматривают четыре альтернативных механизма, обеспечивающих стационарность моделей, а также нестационарный случай, и приходят к выводу, что, в целом, рассматриваемые подходы приводят к эквивалентной динамике макроэкономических переменных в рамках анализа функций импульсного отклика. Для функции $\Psi_t^B(\bullet)$ мы предполагаем квадратичную функциональную форму:

$$(8) \quad \Psi_t^B \left(\frac{S_t B_t^*(i)}{p_t^Y Y_t} \right) = \frac{\Psi_B}{2} \left(\frac{S_t B_t^*(i)}{p_t^Y Y_t} \right)^2 p_t^Y Y_t.$$

Данные издержки связаны с дополнительной покупкой импортных товаров в раз-
мере $\frac{\Psi_B}{2} \left(\frac{S_t B_t^*(i)}{p_t^Y Y_t} \right)^2 \frac{p_t^Y Y_t}{p_t^{\text{Im}}}$, что является безвозвратными потерями. Здесь p_t^{Im} – цены импортных товаров в национальной валюте.

Продефинировав бюджетное ограничение (7) по индексу потребительских цен и подставив функцию спроса на труд (4) в функцию полезности (1) и бюджетное ограничение, запишем функцию Лагранжа и получим следующие условия оптимальности:

$$(9) \quad \frac{\partial \Upsilon_t^H(i)}{\partial C_t(i)} = 0 \Rightarrow \lambda_t(i) = \frac{1}{C_t(i) - hC_{t-1}},$$

$$(10) \quad \frac{\partial Y_t^H(i)}{\partial B_t(i)} = 0 \Rightarrow \lambda_t(i) = \beta E_t \left[\lambda_{t+1}(i) \frac{R_t}{\pi_{t+1}^c} \right],$$

$$(11) \quad \frac{\partial Y_t^H(i)}{\partial B_t^*(i)} = 0 \Rightarrow \lambda_t(i) \left(1 + \Psi_B \left(\frac{S_t B_t^*(i)}{P_t^Y Y_t} \right) \right) = \beta E_t \left[\lambda_{t+1}(i) \frac{R_t^*}{\pi_{t+1}^c} \frac{S_{t+1}}{S_t} \right],$$

$$(12) \quad \frac{\partial Y_t^H(i)}{\partial W_t(i)} = 0 \Rightarrow \phi \eta_L \frac{P_t^c}{W_t(i)} \left(\frac{W_t(i)}{W_t} \right)^{-(1+\psi)\eta_L} L_t^\psi - \lambda_t(\eta_L - 1) \left(\frac{W_t(i)}{W_t} \right)^{-\eta_L} - \\ - \Psi_W \lambda_t \frac{W_t}{W_{t-1}(i)} \left(\frac{W_t(i)}{W_{t-1}(i)} - \overline{\pi^W} \right) + \beta \Psi_W E_t \left[\lambda_{t+1} \frac{W_{t+1}(i) W_{t+1}}{W_t(i)^2} \left(\frac{W_{t+1}(i)}{W_t(i)} - \overline{\pi^W} \right) \frac{L_{t+1}}{L_t} \frac{1}{\pi_{t+1}^c} \right] = 0,$$

где $Y_t^H(i)$ – функция Лагранжа; $\lambda_t(i)$ – множитель Лагранжа при бюджетном ограничении домохозяйства, выраженном в реальных величинах, который является теневой стоимостью реального потребления; $\pi_t^c = \frac{P_t^c}{P_{t-1}^c}$ – темп роста индекса потребительских цен.

В симметричном равновесии все домохозяйства идентичны, поэтому они принимают те же самые решения. Таким образом, индекс i в уравнениях (9)–(12) пропадает, и значения переменных выбора отдельного домохозяйства (потребления, заработной платы и др.) будут совпадать с агрегированными значениями соответствующих переменных, так как последние определяются интегрированием по всему континууму домохозяйств. Если лог-линеаризовать систему условий оптимальности относительно долгосрочного равновесия, то можно получить систему уравнений с более наглядной интерпретацией. Из уравнений (9) и (10) получаем

$$(13) \quad \hat{C}_t = \frac{h}{1+h} \hat{C}_{t-1} + \frac{1}{1+h} E_t \hat{C}_{t+1} - \frac{1-h}{1+h} (\hat{R}_t - E_t \hat{\pi}_{t+1}^c).$$

Здесь знак крышки над переменной обозначает ее процентное отклонение от долгосрочного значения. Таким образом, отклонение текущего потребления положительно зависит от взвешенного среднего отклонения потребления в прошлом периоде и ожидаемого отклонения потребления в следующем периоде. Также потребление в текущем периоде отрицательно зависит от ожидаемой реальной процентной ставки, причем, чем больше привычки в потреблении (чем больше параметр h), тем ниже чувствительность к изменению реального процента.

Уравнения (10) и (11) приводят к модифицированному непокрытому паритету процентных ставок:

$$(14) \quad \hat{R}_t = \hat{R}_t^* + E_t \hat{\pi}_{t+1}^s - \Psi_B \left(\frac{S_t B_t^*}{P_t^Y Y_t} \right),$$

где $\pi_t^s = \frac{S_t}{S_{t-1}}$ – темп роста номинального обменного курса. Доходность на внутреннем

рынке равна доходности на внешнем рынке с учетом ожидаемого изменения номинального обменного курса и предельных издержек вложения дополнительной единицы в иностранные облигации. Обычно в уравнение (14) еще вводится шок премии за риск, чтобы учесть отклонения от паритета (см., например: [3; 22]).

В условиях отсутствия жесткости заработных плат $\Psi_W = 0$ в уравнении (12) реальная заработная плата $w_t = W_t / p_t^c$ устанавливается как наценка над предельной нормой замещения потребления досугом mrs_t :

$$(15) \quad w_t = \frac{\eta_L}{\eta_L - 1} mrs_t = \frac{\eta_L}{\eta_L - 1} \frac{\phi L_t^\Psi}{\lambda_t}.$$

Чем менее дифференцирован труд отдельных домохозяйств, т.е. чем больше эластичность замещения η_L , тем ближе реальная заработная плата стремится к той, которая была бы на рынке совершенной конкуренции. Для анализа ситуации, когда издержки не равны нулю, лог-линеаризуем уравнение (12):

$$(16) \quad \hat{\pi}_t^W = \beta E_t \hat{\pi}_{t+1}^W + \frac{\eta_L - 1}{\Psi_W \pi^W} \left(\widehat{mrs}_t - \hat{w}_t \right),$$

где $\pi_t^W = \frac{W_t}{W_{t-1}}$ – темп роста номинальной заработной платы.

Таким образом, уравнение (16) показывает, что отклонение от долгосрочного равновесия роста заработной платы положительно зависит от ожидаемого отклонения роста заработной платы в следующем периоде и от того, насколько процентное отклонение предельной нормы замещения превышает процентное отклонение реальной заработной платы. В уравнении (16) выражение в скобках можно также рассматривать как разрыв в реальной заработной плате по сравнению со случаем отсутствия жесткостей в заработных платах. Так, если фактическая реальная заработная плата ниже той, которая будет преобладать на гибком рынке труда, то будет происходить превышение инфляции номинальных заработных плат над ее долгосрочным уровнем, т.е. будет происходить ускорение роста номинальных заработных плат. Параметр Ψ_W характеризует скорость сходимости к долгосрочному равновесию. Чем Ψ_W больше, тем дольше будет приспособление зарплаты к шокам экономики.

Рассмотрим задачу выбора домохозяйством между отдельными товарами в каждый момент времени. Для формализации предпочтений домохозяйства относительно выбора между неторгуемыми C_t^N , торгуемыми отечественными C_t^{TD} и импортными C_t^{Im} товарами будем предполагать, что реальное потребление домохозяйства C_t является некото-

рой функцией от потребления данных трех типов товаров: $C_t = C(C_t^N, C_t^{Im}, C_t^{TD})$. Также предполагается слабая сепарабельность (подробнее о различных формах сепарабельности см., например: [8]) предпочтений домохозяйства относительно выбора между торгуемыми товарами отечественного производства и импортными товарами.

Общая идея сепарабельности предпочтений домохозяйства заключается в том, что совокупный набор благ может быть разбит на отдельные группы товаров таким образом, что предпочтения в рамках одной группы могут быть описаны независимо от объемов потребления товаров других групп [19]. Таким образом, здесь предполагается, что торгуемые отечественные товары и импортные товары обладают большим количеством схожих характеристик по сравнению с неторгуемыми товарами и их можно объединить в одну группу торгуемых благ.

При выполнении предположения о слабой сепарабельности функция предпочтений принимает вид

$$(17) \quad C_t = C(C_t^N, v_C(C_t^{Im}, C_t^{TD})),$$

где $v_C(\bullet)$ – функция полезности, характеризующая предпочтения домохозяйств в классе группы торгуемых товаров.

При спецификации функциональной формы реального потребления будем следовать стандартной практике в литературе по моделям открытых экономик (см., например: [54]) и будем рассматривать функции с постоянной эластичностью замещения (CES). То есть мы предполагаем, что индекс реального потребления описывается двухуровневой CES-функцией. Изначально CES-функции были введены для описания производственных технологий Эрроу и др. [6] и обобщены до двухуровневой функции Сато [63], но в дальнейшем стали довольно активно использоваться для описания потребительского выбора. Таким образом, функцию полезности, характеризующую предпочтения репрезентативного домохозяйства в классе группы торгуемых товаров, специфицируем следующим образом:

$$(18) \quad C_t^T = v_C(C_t^{Im}, C_t^{TD}) = \left[(1 - \alpha_{CT})^{\frac{1}{\eta_{CT}}} (C_t^{TD})^{\frac{\eta_{CT}-1}{\eta_{CT}}} + (\alpha_{CT})^{\frac{1}{\eta_{CT}}} (C_t^{Im})^{\frac{\eta_{CT}-1}{\eta_{CT}}} \right]^{\frac{\eta_{CT}}{\eta_{CT}-1}},$$

где C_t^T – индекс потребления корзины торгуемых благ; α_{CT} – вес импортных товаров в индексе потребления; η_{CT} – эластичность замещения между торгуемыми отечественными товарами и импортными товарами. Эластичность замещения показывает, на сколько процентов изменится оптимальное соотношение торгуемых отечественных и импортных товаров при однопроцентном изменении их относительных цен.

Аналогично, спецификация предпочтений между торгуемыми и неторгуемыми товарами имеет вид

$$(19) \quad C_t = \left[(1 - \alpha_{CN})^{\frac{1}{\eta_{CN}}} (C_t^T)^{\frac{\eta_{CN}-1}{\eta_{CN}}} + (\alpha_{CN})^{\frac{1}{\eta_{CN}}} (C_t^N)^{\frac{\eta_{CN}-1}{\eta_{CN}}} \right]^{\frac{\eta_{CN}}{\eta_{CN}-1}},$$

где α_{CN} – вес неторгуемых товаров в индексе реального совокупного потребления; η_{CN} – эластичность замещения между неторгуемыми товарами и корзиной торгуемых товаров.

При данной спецификации предпочтений решение задачи первого этапа оптимизации, в рамках которого минимизируются расходы на корзину торгуемых товаров при фиксированном уровне потребления корзины торгуемых товаров C_t^T , приводит к следующему выбору торгуемых отечественных и импортных товаров:

$$(20) \quad C_t^{TD} = (1 - \alpha_{CT}) \left(\frac{P_t^{TD}}{P_t^T} \right)^{-\eta_{CT}} C_t^T,$$

$$(21) \quad C_t^{Im} = \alpha_{CT} \left(\frac{P_t^{Im}}{P_t^T} \right)^{-\eta_{CT}} C_t^T,$$

где P_t^T – индекс цен корзины торгуемых товаров, который соответствует расходам домохозяйства на единицу торгуемого блага C_t^T в точке оптимума. Индекс цен корзины торгуемых товаров определяется по формуле:

$$(22) \quad P_t^T = \left[(1 - \alpha_{CT}) (P_t^{TD})^{1-\eta_{CT}} + \alpha_{CT} (P_t^{Im})^{1-\eta_{CT}} \right]^{1/(1-\eta_{CT})}.$$

Совершенно аналогично на втором этапе оптимизации происходит минимизация расходов на корзину торгуемых и неторгуемых товаров при фиксированном уровне совокупного реального потребления домохозяйства C_t , которая приводит к следующим условиям оптимального выбора потребления между товарными группами:

$$(23) \quad C_t^T = (1 - \alpha_{CN}) \left(\frac{P_t^T}{P_t^C} \right)^{-\eta_{CN}} C_t,$$

$$(24) \quad C_t^N = \alpha_{CN} \left(\frac{P_t^N}{P_t^C} \right)^{-\eta_{CN}} C_t.$$

Соответствующий индекс цен потребления имеет вид

$$(25) \quad P_t^C = \left[(1 - \alpha_{CN}) (P_t^T)^{1-\eta_{CN}} + \alpha_{CN} (P_t^N)^{1-\eta_{CN}} \right]^{1/(1-\eta_{CN})}.$$

Описание предпочтений домохозяйства с помощью функций с постоянной эластичностью замещения может являться достаточно жесткой предпосылкой, как и предположение о сепарабельности предпочтений, так как трудно предполагать постоянную эластич-

ность замещения между двумя товарными группами при различной доле в потреблении третьей товарной группы. Данная критика будет иметь место при описании выбора между неторгуемыми, торгуемыми отечественными и импортными товарами в формировании инвестиций и товаров государственного потребления, а также при спецификации производственных функций в задачах фирм. Альтернативой, к примеру, может являться транслогарифмическая функциональная форма. Так, Джоргенсон и др. [34] при построении вычислимой модели общего равновесия экономики США для описания оптимального выбора между товарами использовали транслогарифмическую функцию расходов.

В дальнейшем мы будем предполагать аналогичную двухуровневую CES-функцию для формирования реальных инвестиций Inv_t и государственных расходов на конечное потребление товаров и услуг G_t . В первом случае предполагается, что существует технология производства из торгуемых отечественных I_t^{TD} , импортных I_t^{Im} и неторгуемых I_t^N товаров единицы однородного инвестиционного блага, которое в дальнейшем может пойти на увеличение капитала в производственных секторах экономики. Во втором случае предполагается, что государственные расходы на конечное потребление товаров и услуг соответствуют покупке некоторого общественного блага, производство которого описывается технологией, которая трансформирует торгуемые отечественные G_t^{TD} , импортные G_t^{Im} и неторгуемые G_t^N товары в единое общественное благо. Так как в данной работе задачи формирования реальных инвестиций и государственных расходов на конечное потребление товаров и услуг совершенно аналогичны задаче домохозяйства, для краткости изложения они не приводятся.

1.2. Фирмы в торгуемом и неторгуемом секторах

Пусть производственный процесс фирм в отраслях производства торгуемых отечественных и неторгуемых товаров описывается с помощью производственной функции $F^J(\bullet)$, зависящей от трех факторов производства: загруженного капитала $u^J K^J$, труда L^J и энергии E^J , где $J \in \{TD, N\}$. Предполагается, что фирмы одной отрасли оперируют в рамках идентичной технологии. В разных отраслях технологии могут отличаться. Например, промышленный торгуемый сектор может быть более капиталоемким, а сфера услуг, которая больше тяготеет к неторгуемому сектору, более интенсивно использовать труд.

Предполагается, что в производственном процессе используется показатель загруженного капитала, который является произведением физического объема капитала K^J на интенсивность загрузки капитала u^J . В модели физический капитал принадлежит фирмам. Его изменение происходит за счет соответствующих инвестиционных решений фирм. Фирмы могут также изменять интенсивность загрузки капитала, при этом загрузка капитальных мощностей также сопряжена с некоторыми издержками.

Предполагается, что в каждой отрасли торгуемых и неторгуемых товаров действует континуум фирм $i \in [0, 1]$, которые производят дифференцированный продукт и дей-

ствуют на рынке монополистической конкуренции. Также предполагается, что отдельная фирма продает свой дифференцированный товар $Y_t^J(i)$ совершенно конкурентной репрезентативной фирме (ритейлеру), которая трансформирует данные товары в агрегированный выпуск отрасли Y_t^J , используя следующую технологию Диксита – Стиглица:

$$(26) \quad Y_t^J = \left[\int_0^1 (Y_t^J(i))^{\frac{(\eta_J-1)}{\eta_J}} di \right]^{\eta_J / (\eta_J-1)},$$

где η_J – эластичность замещения между товарами фирм рассматриваемой отрасли.

Из оптимизационной задачи ритейлера следует функция спроса на товары каждой фирмы:

$$(27) \quad Y_t^J(i) = \left(\frac{p_t^J(i)}{p_t^J} \right)^{-\eta_J} Y_t^J,$$

где $p_t^J(i)$ – цена i -й фирмы отрасли J .

И можно показать, что агрегированный уровень цен p_t^J в каждой отрасли определяется выражением

$$(28) \quad p_t^J = \left[\int_0^1 (p_t^J(i))^{1-\eta_J} di \right]^{\frac{1}{1-\eta_J}}.$$

Таким образом, в отличие от рынка совершенной конкуренции, фирмы в торгуемом и неторгуемом секторах также принимают решение, какую цену устанавливать на свой товар. При этом, как и в задаче домохозяйства, мы вводим жесткость цен по Ротембергу [59], предполагая, что изменение цены отдельной фирмы по сравнению с долгосрочным ростом цен $\bar{\pi}$ связано с некоторыми издержками, которые могут быть формализованы в виде выпуклой квадратичной функции:

$$(29) \quad \Psi_{J,t}^P \left(\frac{p_t^J(i)}{p_{t-1}^J(i)} \right) = \frac{\Psi_P}{2} \left(\frac{p_t^J(i)}{p_{t-1}^J(i)} - \bar{\pi} \right)^2 p_t^J Y_t^J.$$

Данные издержки связаны с тратами товаров и услуг рассматриваемых секторов экономики в размере $\frac{\Psi_P}{2} \left(\frac{p_t^J(i)}{p_{t-1}^J(i)} - \bar{\pi} \right)^2 Y_t^J$, т.е. при изменении своих цен фирмам, например, неторгуемого сектора необходимо купить товаров и услуг неторгуемого сектора в объеме $\frac{\Psi_P}{2} \left(\frac{p_t^N(i)}{p_{t-1}^N(i)} - \bar{\pi} \right)^2 Y_t^N$ по цене p_t^N .

Задача фирмы сводится к максимизации своей стоимости, которая определяется следующим выражением:

$$(30) \quad V_t^J(i) = \sum_{s=0}^{\infty} \tilde{R}_{t,t+s} \left[p_{t+s}^J(i) \left(\frac{p_{t+s}^J(i)}{p_{t+s}^J} \right)^{-\eta_J} Y_{t+s}^J - p_{t+s}^I \text{Inv}_{t+s}^J(i) - W_{t+s} L_{t+s}^J(i) - \right. \\ \left. - p_{t+s}^E E_{t+s}^J(i) - \Psi^U(u_{t+s}^J(i)) p_{t+s}^J K_{t+s}^J(i) - \Psi_{J,t+s}^P \left(\frac{p_{t+s}^J(i)}{p_{t+s-1}^J(i)} \right) \right].$$

Выражение в квадратных скобках представляет собой денежный поток, который равен выручке за вычетом всех расходов в рассматриваемый период времени, а именно: расходов на покупку инвестиционных товаров, труд, энергию, издержек на загрузку капитала и издержек изменения цен соответственно. Здесь p_t^I – цена инвестиционного товара; $\text{Inv}_t^J(i)$ – физический объем инвестиций; $L_t^J(i)$ – количество используемого труда; p_t^E – цена энергии; $E_t^J(i)$ – количество использованной энергии; $\tilde{R}_{t,t+s} = \beta^s \frac{\lambda_{t+s} p_t^c}{\lambda_t p_{t+s}^c}$ – стохастический дисконт-фактор, отражающий текущую ценность для домохозяйства дополнительного рубля, который будет получен в момент времени $t + s$. Здесь предполагается, что фирмы действуют в интересах домохозяйств.

Предполагается, что фирмам отрасли $J \in \{TD, N\}$ для загрузки капитала необходимо купить товаров и услуг соответствующей отрасли в объеме $\Psi^U(u_t^J(i)) K_t^J(i)$, где функция $\Psi^U(\bullet)$ определяется следующим образом:

$$(31) \quad \Psi^U(u_t^J(i)) = \frac{\chi}{\Psi_u} \left[\exp(\Psi_u(u_t^J(i)) - 1) - 1 \right].$$

Для простоты предполагается, что долгосрочный уровень интенсивности загрузки капитала равен единице и при данном уровне издержки загрузки капитала равны нулю, что просто является вопросом нормировки. Соответственно, параметр χ в модели калибруется, чтобы обеспечить равенство интенсивности загрузки капитала единице в долгосрочном равновесии. Параметр же Ψ_u характеризует кривизну функции издержек и определяет степень чувствительности интенсивности загрузки мощностей к изменению экономических условий.

Задача оптимизации фирмы происходит при двух ограничениях. Ограничение на динамику капитала:

$$(32) \quad K_{t+1}^J(i) = (1 - \delta) K_t^J(i) + \left(1 - \Psi^I \left(\frac{\text{Inv}_t^J(i)}{\text{Inv}_{t-1}^J(i)} \right) \right) \text{Inv}_t^J(i),$$

где δ – норма амортизации; $\Psi^I \left(\frac{Inv_t^J(i)}{Inv_{t-1}^J(i)} \right) = \frac{\Psi_I}{2} \left(\frac{Inv_t^J(i)}{Inv_{t-1}^J(i)} - 1 \right)^2$ – издержки на установку капитала.

Рассматриваемая спецификация издержек на установку капитала, которые зависят именно от темпа изменения инвестиций по сравнению с темпом в долгосрочном состоянии, а не отношения инвестиций к капиталу, получила широкое распространение в DSGE-моделировании (см., например: [17; 67–69]). Это обусловлено способностью DSGE-моделей с данной спецификацией издержек на установку капитала воспроизводить куполообразные отклики инвестиций в ответ на экономические шоки.

Вторым ограничением оптимизационной задачи фирмы является условие равенства объема продукции, произведенного i -й фирмой, спросу на ее товар:

$$(33) \quad \left(\frac{p_t^J(i)}{p_t^J} \right)^{-\eta_Y} Y_t^J = F^J \left(u_t^J(i) K_t^J(i), L_t^J(i), E_t^J(i) \right).$$

Пусть переменные $Q_t^J(i)$ и $\Lambda_t^J(i)$ соответствуют множителям Лагранжа при ограничении на динамику капитала и равенства объема произведенной продукции спросу на товар соответственно. Условия оптимальности задачи фирмы принимают вид

$$(34) \quad \frac{\partial Y_t^J(i)}{\partial K_{t+1}^J(i)} = 0 \Rightarrow Q_t^J(i) = E_t \left[\tilde{R}_{t,t+1} u_{t+1}^J(i) \Lambda_{t+1}^J(i) F_1^J \left(u_{t+1}^J(i) K_{t+1}^J(i), L_{t+1}^J(i), E_{t+1}^J(i) \right) \right] - E_t \left[\tilde{R}_{t,t+1} \Psi^U \left(u_{t+1}^J(i) \right) p_{t+1}^J \right] + (1 - \delta) E_t \left[\tilde{R}_{t,t+1} Q_{t+1}^J(i) \right],$$

$$(35) \quad \frac{\partial Y_t^J(i)}{\partial L_t^J(i)} = 0 \Rightarrow W_t = \Lambda_t^J(i) F_2^J \left(u_t^J(i) K_t^J(i), L_t^J(i), E_t^J(i) \right),$$

$$(36) \quad \frac{\partial Y_t^J(i)}{\partial E_t^J(i)} = 0 \Rightarrow p_t^E = \Lambda_t^J(i) F_3^J \left(u_t^J(i) K_t^J(i), L_t^J(i), E_t^J(i) \right),$$

$$(37) \quad \frac{\partial Y_t^J(i)}{\partial u_t^J(i)} = 0 \Rightarrow p_t^J \Psi_1^U \left(u_t^J(i) \right) = \Lambda_t^J(i) F_1^J \left(u_t^J(i) K_t^J(i), L_t^J(i), E_t^J(i) \right),$$

$$(38) \quad \frac{\partial Y_t^J(i)}{\partial Inv_t^J(i)} = 0 \Rightarrow Q_t^J(i) \left\{ 1 - \Psi_I \frac{Inv_t^J(i)}{Inv_{t-1}^J(i)} \left(\frac{Inv_t^J(i)}{Inv_{t-1}^J(i)} - 1 \right) - \Psi_I \left(\frac{Inv_t^J(i)}{Inv_{t-1}^J(i)} - 1 \right)^2 \right\} + \Psi_I E_t \left[\tilde{R}_{t,t+1} Q_{t+1}^J(i) \left(\frac{Inv_{t+1}^J(i)}{Inv_t^J(i)} \right)^2 \left(\frac{Inv_{t+1}^J(i)}{Inv_t^J(i)} - 1 \right) \right] = p_t^I,$$

$$(39) \quad \frac{\partial Y_t^J(i)}{\partial p_t^J(i)} = 0 \Rightarrow (1 - \eta_J) \left(\frac{p_t^J(i)}{p_t^J} \right)^{-\eta_J} Y_t^J + \eta_J \frac{\Lambda_t^J(i)}{p_t^J(i)} \left(\frac{p_t^J(i)}{p_t^J} \right)^{-\eta_J} Y_t^J - \\ - \Psi_P \frac{p_t^J}{p_{t-1}^J(i)} \left(\frac{p_t^J(i)}{p_{t-1}^J(i)} - \bar{\pi} \right) Y_t^J + \Psi_P E_t \left[\tilde{R}_{t,t+1} \frac{p_{t+1}^J p_{t+1}^J(i)}{p_t^J(i)} \left(\frac{p_{t+1}^J(i)}{p_t^J(i)} - \bar{\pi} \right) Y_{t+1}^J \right] = 0.$$

Множитель Лагранжа $Q_t^J(i)$ может интерпретироваться как теневая стоимость единицы капитала, а множитель $\Lambda_t^J(i)$ – теневые предельные издержки. Введем для удобства также понятие теневой рентной цены капитала

$$R_{K,t}^J(i) = \Lambda_t^J(i) F_1^J \left(u_t^J(i) K_t^J(i), L_t^J(i), E_t^J(i) \right),$$

которое нужно понимать в том смысле, что если бы существовал рынок загруженного капитала и фирмы трактовали $R_{K,t}^J(i)$ как экзогенную переменную, то оптимальный выбор объема загруженного капитала был бы таким же, как и в случае, когда капитал принадлежит фирмам.

В симметричном равновесии все фирмы одной отрасли идентичны, поэтому они принимают те же самые решения. Таким образом, индекс i в уравнениях (34)–(39) пропадает, и значения переменных выбора отдельной фирмы отрасли (инвестиций, труда и др.) будут совпадать с агрегированными значениями соответствующих отраслевых переменных, так как последние определяются интегрированием по всему континууму фирм рассматриваемой отрасли.

Из уравнения (34) следует, что теневая стоимость единицы физического капитала положительно зависит от ожидаемой теневой стоимости в будущем периоде с учетом амортизации и от ожидаемой будущей теневой рентной цены, умноженной на интенсивность загрузки физического капитала. Уравнения (35) и (36) определяют оптимальный выбор труда и энергии. Уравнение (37) определяет оптимальный уровень загрузки капитальных мощностей, при котором предельные издержки загрузки единицы капитала равны реальной теневой рентной цене. Уравнение (38) определяет динамику инвестиций. Если его лог-линеаризовать относительно долгосрочного равновесия, то, как и в задаче домохозяйства для динамики потребления, получим, что отклонение инвестиций от долгосрочного равновесия в текущем периоде положительно зависит от взвешенного среднего отклонения инвестиций в прошлом периоде и ожидаемого отклонения инвестиций в следующем периоде. Инвестиции также положительно зависят от разрыва между теневой стоимостью единицы капитала и ценой единицы инвестиционного блага. Параметр Ψ_I определяет степень чувствительности к данному разрыву. Чем он больше, тем дольше экономика сходится к долгосрочному равновесию.

Из уравнения (39) следует, что в долгосрочном равновесии цена товара превышает теневые предельные издержки в $\frac{\eta_J}{\eta_J - 1}$ раз. Таким образом, чем больше дифференцированы товары отдельной отрасли, т.е. чем меньше эластичность спроса на товар отдель-

ной фирмы в данной отрасли, тем больше величина маржи в данной отрасли. Если лог-линеаризовать уравнение (39), то получим неокейнсианскую кривую Филлипса, в которой инфляция в текущем периоде положительно зависит от ожидаемой инфляции и от разрыва в реальных теневых предельных издержках от долгосрочного уровня.

При спецификации технологий в торгуемом и неторгуемом секторах предполагаем, что производственная функция является слабо сепарабельной по загруженному капиталу и энергии, что согласуется с эконометрическими оценками Берндта и Вуда [9] для США. Данное предположение подразумевает, что энергия необходима именно для эксплуатации загруженного капитала и данные два фактора более близки в производстве. Свойство слабой сепарабельности означает, что оптимальный выбор между этими факторами не зависит от выбора количества используемого труда. При выборе функциональной формы будем следовать работам Бакуса и Кручини [7] и Кима и Лоунгани [37] и зададим следующую спецификацию:

$$(40) \quad F^J(u_t^J K_t^J, L_t^J, E_t^J) = A_t^J \left[(\alpha_K^J) (u_t^J K_t^J)^{\frac{\eta_{EJ}-1}{\eta_{EJ}}} + (1-\alpha_K^J) (E_t^J)^{\frac{\eta_{EJ}-1}{\eta_{EJ}}} \right]^{\frac{(1-\alpha_L^J)\eta_{EJ}}{\eta_{EJ}-1}} (L_t^J)^{\alpha_L^J},$$

где A_t^J – уровень производительности; α_L^J – эластичность выпуска по количеству используемого труда; η_{EJ} – эластичность замещения между загруженным капиталом и энергией; α_K^J – параметр доли загруженного капитала.

Если эластичность замещения стремится к нулю, то вложенная функция от загруженного капитала и энергии стремится к производственной функции Леонтьева, что будет соответствовать ситуации, когда на единицу загруженного капитала необходимо фиксированное пропорциональное количество энергии. Если эластичность замещения стремится к единице, то производственная функция $F^J(\bullet)$ переходит в стандартную функцию Кобба – Дугласа с тремя факторами производства.

1.3. Производство нефти

В настоящей работе мы абстрагируемся от производственного процесса нефти и будем предполагать, что совокупный объем добытой нефти в каждый период задан на экзогенном уровне. Как отмечают Камхоф и др. [40] при построении модели GIMF МВФ, ценовая эластичность предложения нефти находится на предельно низком уровне. Соответственно, если производственные мощности полностью загружены, нефтедобывающие фирмы не могут значительно увеличить объем добычи в среднесрочной перспективе при росте мировой цены нефти. Разведка же новых запасов нефти, бурение и обустройство месторождений занимают достаточно продолжительное время. Рассмотрение данных факторов сильно бы усложнило настоящую модель. Тем не менее при падении цены на нефть нефтедобывающие фирмы могли бы снизить интенсивность загрузки существующих производственных мощностей, скажем, временно приостановив работу скважин с высокими издержками добычи. Но данный аспект также выходит за рамки текущей работы.

Таким образом, в модели предполагается, что в каждый период времени фирмы сталкиваются с экзогенным количеством добытой нефти \overline{Oil}_t и принимают решение об объеме поставок на внешний и внутренний рынки. Фирмы воспринимают цены на международном рынке как заданные. При этом нефть, идущая на экспорт, облагается таможенной пошлиной $\tau_{Oil,t}^{Ex}$, которая является линейной функцией от цены нефти $p_{Oil,t}^{Ex}$:

$$(41) \quad \tau_{Oil,t}^{Ex} = \tau_0^{Ex} + \tau_1^{Ex} p_{Oil,t}^{Ex}.$$

В настоящей работе фирмы не наделяются какой-либо монопольной властью на внутреннем рынке и не имеют издержек транспортировки нефти, что приводит к следующему определению цены нефти на внутреннем рынке $p_{Oil,t}^D$:

$$(42) \quad p_{Oil,t}^D = S_t (p_{Oil,t}^{Ex} - \tau_{Oil,t}^{Ex}).$$

И экспорт нефти определяется как разница между совокупным объемом добычи и внутренним спросом на нефть.

В базовой версии модели мы предполагаем, что динамика мировой цены на нефть определяется следующим стационарным AR(1)-процессом:

$$(43) \quad \log p_{Oil,t}^{Ex} = (1 - \rho_{Oil}) \log \bar{p}_{Oil}^{Ex} + \rho_{Oil} \log p_{Oil,t-1}^{Ex} + u_t^{Oil},$$

где ρ_{Oil} – параметр автокорреляции; \bar{p}_{Oil}^{Ex} – долгосрочный уровень мировых цен на нефть; $u_t^{Oil} \sim N(0, \sigma_{Oil}^2)$ – шок цен на нефть на международном рынке.

Данное предположение является крайним упрощением для описания динамики мировых цен на нефть. В частности, может быть подвержено критике предположение о стационарности цен на нефть. В ряде работ (см., например: [48; 56]) авторы приходят к выводу, что стохастический процесс цен на нефть имеет единичный корень. Тем не менее спецификация динамики экзогенных процессов в DSGE-моделях в виде стационарных AR(1)-процессов является достаточно стандартной в литературе, и аналогичная спецификация для цен на нефть использовалась, например, в работах [42; 44].

Предполагается, что фирмы в торгуемом и неторгуемом секторах преобразуют нефть в энергию без каких-либо издержек, что соответствует равенству цены нефти на внутреннем рынке цене энергии. Также предполагается, что нефтедобывающие фирмы принадлежат домохозяйствам и после выплаты таможенной пошлины распределяют прибыль между домохозяйствами в виде дивидендов.

В целом, модель позволяет анализировать воздействие на отечественную экономику достаточного обширного набора структурных шоков, в большей или меньшей мере актуальных для российской экономики. Примерами таких шоков могут являться шоки спроса со стороны внешнего сектора, домохозяйств и государства, шоки премии за риск к отечественным активам, шоки совокупной факторной производительности и эффективности инвестиций и многие другие. Но в настоящей статье мы ограничиваем себя только рассмотрением шока мировых цен на нефть в рамках спецификации (43). При этом в чис-

ленном имитационном анализе мы будем использовать линеаризацию исходной системы динамических нелинейных уравнений модели до первого порядка около долгосрочного равновесия и соответствующие методы работы с линейными разностными системами уравнений с рациональными ожиданиями (подробнее см. в разделе 3).

Модель также позволяет анализировать перманентные изменения экзогенных переменных, в том числе мировых цен на нефть, проводить сценарный анализ динамики рассматриваемых макроэкономических переменных при заданных траекториях экзогенных переменных. Анализ данных вопросов обычно решается в рамках подхода «совершенного предвидения»¹, при котором ищется решение исходной нелинейной системы динамических уравнений на конечном отрезке времени при заданных граничных условиях и при предположении, что экономические агенты с достоверностью знают траектории экзогенных переменных (см., например: [35]). Исходная же задача сформулирована на бесконечном отрезке времени, но по теореме о магистрали при стремлении длины отрезка к бесконечности полученное решение стремится к истинному. В целом, сценарный анализ является достаточно интересным приложением модели, но данные дополнительные аспекты привели бы к значительному увеличению объема настоящей статьи.

1.4. Внешний сектор

Предполагаем, что в дополнение к спросу на нефть внешний сектор предъявляет спрос на отечественные торгуемые товары:

$$(44) \quad Y_{Ex,t}^{TD} = \left(\frac{P_t^{TD}}{S_t P_t^*} \right)^{-\eta^f} Y_t^f,$$

где $Y_{Ex,t}^{TD}$ – экспорт торгуемого отечественного товара; p_t^* – мировой уровень цен; Y_t^f – уровень спроса на отечественный товар; η^f – эластичность спроса по цене на отечественный товар.

Совокупный экспорт в терминах иностранной валюты определяется выражением

$$(45) \quad Ex_t = \frac{P_t^{TD}}{S_t} Y_{Ex,t}^{TD} + p_{Oil,t}^{Ex} Oil_t^{Ex}.$$

Также предполагаем, что отечественные экономические агенты могут купить любой объем импортных товаров по заданным мировым ценам p_t^* . Цена на внутреннем рынке данного товара определяется выражением

$$(46) \quad p_t^{im} = S_t p_t^*.$$

¹ По существу, линеаризованная модель до первого порядка также решается в рамках подхода «совершенного предвидения» из-за выполнения принципа стохастической эквивалентности для линейных систем уравнений.

Таким образом, вопрос неполного переноса обменного курса в цены на внутреннем рынке в данной работе не затрагивается. Определение счета текущих операций CA_t в ценах иностранной валюты имеет вид

$$(47) \quad CA_t = Ex_t - p_t^* Im_t + (R_{t-1}^* - 1)(B_{t-1}^* - D_{t-1}^*),$$

где Im_t – совокупный спрос на импортные товары со стороны отечественной экономики, который равен сумме спросов импортных товаров на потребление домашними хозяйствами и государственным сектором, на инвестиции и на издержки, связанные с размещением (покупкой) облигаций на внешнем рынке; D_t^* – государственный долг на внешнем рынке.

1.5. Центральный банк

Предполагается, что центральный банк следует политике управляемого номинального обменного курса. Для описания деятельности центрального банка в модели предполагаем, что номинальный обменный курс является экзогенной переменной, динамика которой описывается следующим стохастическим процессом:

$$(48) \quad \pi_t^S = \frac{S_t}{S_{t-1}} = \bar{\pi}^S (1 + u_t^S),$$

где π_t^S – темп роста номинального обменного курса; $\bar{\pi}^S$ – некоторый долгосрочный темп роста обменного курса; $u_t^S \sim N(0, \sigma_S^2)$ – шок обменного курса.

Данное предположение является критичным упрощением ввиду сложности описания политики центрального банка российской экономики с помощью некоторых инструментальных правил политики, учитывающих эндогенную реакцию денежно-кредитных властей на ситуацию в экономике. Что особенно затруднено при вероятной несимметричной реакции Банка России на положительные и отрицательные шоки экономики. Спецификация уравнения с шоком обменного курса, в целом, позволяет более гибко моделировать рассматриваемую переменную и, например, проводить анализ одновременного падения мировых цен на нефть и девальвации рубля. Но в настоящей статье шоки обменного курса не рассматриваются.

При построении DSGE-моделей зарубежных экономик стандартной практикой является спецификация только инструментального правила в виде правила Тейлора для номинальной процентной ставки и игнорирование уравнения спроса на деньги (см., например: [3; 22; 67–69]). Предполагается, что центральный банк за счет интервенций на денежном рынке может всегда достичь целевого уровня процента, который и определяет решения экономических агентов. И, соответственно, дополнительное уравнение спроса на деньги в рамках модели только определяет динамику одной дополнительной переменной – денежной массы и не оказывает никакого влияния на остальные переменные модели. Таким образом, рассмотрение уравнения спроса на деньги необходимо, только если ставится дополнительная задача моделирования динамики денежной массы.

В настоящей работе мы будем следовать аналогичной логике. В целом, управление номинальным обменным курсом в рамках спецификации уравнения (48) может достигаться как за счет операций на валютном, так и на денежном рынке. Несомненно, более релевантными для российской действительности являются интервенции на валютном рынке. Если же рассмотреть «идеальную» ситуацию с абсолютной мобильностью капитала, в которой центральный банк может эффективно проводить интервенции, как на валютном, так и на денежном рынке, то единственным отличием данных инструментов денежно-кредитной политики будет являться различная структура отечественных и зарубежных активов у центрального банка и частного сектора. Влияния же на реальную экономику и на ценовые показатели, которые и являются объектом исследования настоящей работы, не будет наблюдаться.

Учитывая данную эквивалентность в первом приближении и то, что в настоящей работе мы не ставим задачу моделирования переменной накопления золотовалютных резервов, в модели будем предполагать, что центральный банк управляет обменным курсом за счет интервенций на денежном рынке. И, следуя далее стандартной практике по построению DSGE-моделей для зарубежных экономик, мы не будем специфицировать отдельное уравнение для спроса на деньги. Если провести связь модели с реальностью, то при введенных предположениях совокупные накопления домохозяйств на внешнем рынке в модели будут также в себе содержать золотовалютные резервы центрального банка.

1.6. Фискальный сектор

В текущей версии модели ограничимся только двумя типами налогов: таможенной пошлиной на экспорт нефти и чистыми налогами, которые платят домохозяйства. Взимание чистого налога именно с домохозяйств обусловлено тем, что они являются собственниками фирм. Так, сокращение налога с домохозяйств за счет введения в модель НДС для нефтедобывающих фирм сократило бы дивиденды, которые получают домохозяйства, в результате совокупный доход не изменился бы.

Дефицит государственного бюджета DG_t в каждый момент времени складывается из расходов на конечное потребление товаров и услуг и расходов на обслуживание государственного долга за вычетом налоговых поступлений:

$$(49) \quad DG_t = P_t^G G_t - T_t - S_t \tau_{Oil,t}^{Ex} Oil_t^{Ex} + (R_{t-1} - 1) D_{t-1} + S_t (R_{t-1}^* - 1) D_{t-1}^*,$$

где P_t^G – индекс цен государственного потребления; D_t, D_t^* – долг перед отечественными и внешними инвесторами.

Дефицит бюджета финансируется за счет выпуска долговых обязательств на внешнем и внутреннем рынках:

$$(50) \quad (D_t - D_{t-1}) + S_t (D_t^* - D_{t-1}^*) = DG_t.$$

Чтобы замкнуть систему, нужно описать поведение фискального сектора – сформулировать правило накопления внутреннего и внешнего долга, чистых налогов и государственных расходов на конечное потребление товаров и услуг. Так как одна из четырех пере-

менных однозначно выражается из остальных трех ввиду выполнения условий баланса фискального сектора, то нам необходимо ввести три правила. Причем данные три правила должны обеспечивать условие отсутствия игры Понци.

Тем не менее текущая версия модели обладает свойствами рикардианской эквивалентности, которая утверждает, что способ финансирования государственных расходов не имеет значения. Он не оказывает влияния ни на потребление экономических агентов, ни на инвестиционные решения. То есть финансирование расходов за счет выпуска облигаций на внешнем финансовом рынке, либо за счет выпуска внутреннего долга, либо за счет повышения чистых налогов приводит к эквивалентным результатам.

Данное свойство модели обусловлено тем, что мы рассматриваем одно репрезентативное домохозяйство, которое максимизирует свое благосостояние на бесконечном отрезке времени. Таким образом, если государство снижает налоги и финансирует получившийся дефицит за счет выпуска внешнего долга, домохозяйства просто увеличат свои сбережения на внешнем рынке на ту же величину, так как принимают во внимание, что данный государственный долг будет покрываться за счет увеличения налогов в будущем.

Вернемся к описанию фискального блока в предлагаемой в настоящей работе модели. Как было отмечено выше, нам нужно ввести три правила для фискального сектора. Первым является правило, описывающее государственные расходы на конечное потребление товаров и услуг. В базовом сценарном анализе мы будем предполагать следующую зависимость:

$$(51) \quad \left(\frac{P_t^s G_t}{P_t Y_t} \right) = \left(\frac{\overline{P_g G}}{\overline{PY}} \right) = const.$$

Данная запись предполагает, что государственное потребление товаров и услуг является постоянным в долях ВВП. Учитывая гипотезу о рикардианской эквивалентности, мы не будем рассматривать политику накопления внутреннего и внешнего государственного долга, а рассматриваем сбалансированный бюджет, при котором все дополнительные расходы финансируются за счет изменения чистых налогов. Таким образом, предполагается равенство нулю внутреннего и внешнего государственного долга.

Данные предпосылки могут показаться весьма спорными на фоне докризисного профицита и текущей угрозы дефицита государственного бюджета российской экономики. Но, с другой стороны, накопленные государственные сбережения перед кризисом 2008 г. сопровождалась значительными займами частным сектором на внешнем рынке, что в некоторой мере может свидетельствовать в пользу гипотезы о рикардианской эквивалентности.

Логика рассматриваемых предположений полностью аналогична введенным предпосылкам при описании деятельности центрального банка. В настоящей работе мы не ставим задачу моделирования переменных государственных финансов. Динамика же переменных реального сектора и показателей цен в рамках рассматриваемой модели зависит именно от политики относительно государственных расходов на конечное потребление товаров и услуг. Альтернативные же непротиворечивые правила накопления внутреннего и внешнего долга приводили бы к одинаковым траекториям данных переменных.

Несомненно, настоящая модель остается сильно стилизованной. И одним из наиболее перспективных направлений дальнейших исследований является отказ от рикарди-

анской эквивалентности, что может быть достигнуто за счет введения в модель «близоручих» домохозяйств и перекрывающихся поколений, и более реалистичное описание фискального сектора.

1.7. Условия равновесия

Ниже приводятся условия равновесия на рынках:

$$(52) \quad L_t = L_t^N + L_t^{TD},$$

$$(53) \quad \overline{Oil}_t = E_t^N + E_t^{TD} + Oil_t^{Ex},$$

$$(54) \quad Y_t^{TD} = C_t^{TD} + I_t^{TD} + G_t^{TD} + Y_{Ex,t}^{TD} + \frac{\Psi_P}{2} \left(\frac{p_t^{TD}}{p_{t-1}^{TD}} - \bar{\pi} \right)^2 Y_t^{TD} + \\ + \frac{\Psi_W}{2} \left(\frac{W_t}{W_{t-1}} - \bar{\pi}^W \right)^2 \frac{W_t L_t^{TD}}{p_t^{TD}} + \frac{\chi}{\Psi_u} \left[\exp(\Psi_u (u_t^{TD} - 1)) - 1 \right] K_t^{TD},$$

$$(55) \quad Y_t^N = C_t^N + I_t^N + G_t^N + \frac{\Psi_P}{2} \left(\frac{p_t^N}{p_{t-1}^N} - \bar{\pi} \right)^2 Y_t^N + \frac{\Psi_W}{2} \left(\frac{W_t}{W_{t-1}} - \bar{\pi}^W \right)^2 \frac{W_t L_t^N}{p_t^N} + \\ + \frac{\chi}{\Psi_u} \left[\exp(\Psi_u (u_t^N - 1)) - 1 \right] K_t^N,$$

$$(56) \quad B_t - D_t = 0,$$

$$(57) \quad (B_t^* - D_t^*) - (B_{t-1}^* - D_{t-1}^*) = Ex_t - p_t^* \left[C_t^{Im} + I_t^{Im} + G_t^{Im} + \frac{\Psi_B}{2} \left(\frac{S_t B_t^*(i)}{p_t^Y Y_t} \right)^2 \frac{p_t^Y Y_t}{p_t^{Im}} \right] + \\ + (R_{t-1}^* - 1)(B_{t-1}^* - D_{t-1}^*).$$

Уравнение (52) является условием равновесия на рынке труда, уравнение (53) – условием равновесия на рынке нефти. Уравнения (54) и (55) соответствуют равновесию на рынке товаров, которые отражают равенство произведенного продукта отрасли спросу на данный продукт и затратам, связанным с изменением цен, зарплат и загрузкой производственных мощностей. Уравнение (56) формализует равновесие на рынке отечественных активов, (57) – равновесие платежного баланса. Выражение в квадратных скобках в уравнении (57) представляет собой весь объем импорта отечественной экономики, идущий на потребление домашних хозяйств и государственного сектора, инвестиции и на издержки, связанные с размещением (покупкой) облигаций на внешнем рынке. Издержки на установку нового капитала в уравнениях (52)–(57) не фигурируют, так как непосредственно учтены в уравнении на динамику капитала.

2. Калибровка параметров модели

Параметры модели можно условно разбить на две группы. Первая группа параметров отвечает за долгосрочное равновесие и структуру экономики, вторая – за динамику модели. При калибровке первой группы параметров мы исходили из того, что модель должна в наибольшей степени отражать текущую экономическую ситуацию российской экономики. Вторая группа параметров, в основном, калибровалась в соответствии с оценками для зарубежных стран и общепринятой логикой относительно приемлемого диапазона их изменения.

В качестве базового года, от которого будут проводиться численные симуляции, был выбран 2011 год со средней экспортной ценой нефти 102 долл. за баррель. Для получения разбивки выпуска по секторам и долей расходов на энергию мы использовали последний официально публикуемый Росстатом межотраслевой баланс за 2003 г. Продукты нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей и газовой промышленности трактовались как отдельная товарная группа, соответствующая в модели товару «нефть». Из оставшихся отраслей в качестве торгуемых товаров рассматривались продукты сельского и лесного хозяйства и всех промышленных отраслей за исключением электроэнергетики. Оставшиеся отрасли трактовались в качестве неторгуемых.

Выпуск в каждой отрасли определялся как сумма валовой добавленной стоимости и расходов на энергию, под которыми понимались расходы на продукты нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей и газовой промышленности. Итоговое отношение торгуемого к неторгуемому сектору составило 32,5%. При этом доля энергии и труда в торгуемом секторе составили 13,8% и 39,5% соответственно, доля энергии и труда в неторгуемом секторе составили 9,5% и 37% соответственно.

При переходе к 2011 г. было сделано предположение, что данные отраслевые пропорции не изменились. Тем не менее на этом этапе без дополнительных предположений получить разбивку потребления по товарам отдельными экономическими агентами не представляется возможным. Так, мы предполагаем, что государство потребляет только неторгуемые товары. Согласно статистике Росстата, 36,6% совокупного импорта в 2011 г. шло на потребление, 21,4% – на инвестиции и 42,0% – на промежуточное потребление. Представленная модель не учитывает промежуточное потребление, и соответствующий импорт распределяем между потреблением домашних хозяйств и инвестициями в тех же пропорциях. Далее отечественный торгуемый выпуск за вычетом экспорта торгуемых товаров распределяем между потреблением домашних хозяйств и инвестициями в таких же пропорциях, в которых был распределен импорт на предыдущем шаге.

На последнем шаге получения сбалансированной матрицы социальных счетов для калибровки необходимо обеспечить ее соответствие непротиворечивому долгосрочному равновесию. В долгосрочном равновесии должны выполняться равенство счета текущих операций нулю и, согласно предположениям модели, равенство нулю чистых иностранных активов. И, так как в модели предполагается равенство импорта и экспорта, а в 2011 г. наблюдалось превышение экспорта над импортом, мы увеличиваем потребление домохозяйств на величину недостающего импорта.

Далее калибруется субъективный коэффициент дисконтирования домохозяйств. Мы предполагаем, что $\beta = 0,99$. Это соответствует реальной процентной ставке, равной 1% в квартал. Норма амортизации δ калибруется на уровне 2,5% в квартал. Выбор дан-

ных значений является стандартным в литературе (см., например: [57; 67]). Как отмечает Прескотт [57], в реальности разные типы капитала имеют различную норму амортизации, и доля выбытия капитала меняется в течение срока жизни любых физических активов, что достаточно сложно учесть при построении теоретических моделей. И обычно норма амортизации δ калибруется к такому уровню, который, наряду с заданным значением коэффициента дисконтирования, обеспечивает согласованность долгосрочного соотношения инвестиций в ВВП в модели с наблюдаемым историческим соотношением рассматриваемой экономики.

В предлагаемой в настоящей статье модели из-за предпосылки монополистической конкуренции на товарных рынках соотношение инвестиций в ВВП в долгосрочном равновесии еще определятся степенью дифференцированности товаров отдельных фирм. Мы предполагаем, что эластичности замещения между товарами отдельных фирм в торгуемом и неторгуемом секторах равны. И в рамках введенных предположений относительно значений коэффициента дисконтирования и нормы амортизации эластичность замещения определяется эндогенно из построенной матрицы социальных счетов, что обеспечивает равенство модельного соотношения инвестиций в ВВП в долгосрочном равновесии фактическому соотношению в 2011 г. Полученное значение эластичности равно 7, что соответствует марже, равной 16,7%. В дальнейшем будет предполагаться такое же значение эластичности спроса на дифференцированный труд домохозяйств по зарплате.

Несомненно, присвоение значений параметрам модели на принятых для других экономик уровнях является недостатком. Тем не менее, как следует из анализа на чувствительность результатов (в настоящей работе привести детальное его описание не представляется возможным), изменения данных параметров в приемлемом диапазоне при условии сбалансированности построенной матрицы социальных счетов оказывают незначительное влияние, как на качественные, так и на количественные результаты численного имитационного анализа. Количественные же результаты в большей мере чувствительны к «динамическим» параметрам второй группы параметров модели.

Для калибровки эластичности замещения между загруженным капиталом и энергией в производственной функции мы следуем работе Бакуса и Кручини [7] и предполагаем достаточно низкую эластичность замещения, $\eta_{EJ} = 0,1$. Бакус и Кручини аргументируют низкое значение данного параметра тем, что DSGE-модели в основном призваны для анализа колебаний в рамках делового цикла. Если снижение энергоемкости производства при росте цен на энергию рассматривать как происходящее в результате перехода на энергоэффективный капитал, то совокупный эффект снижения энергоемкости будет наблюдаться только после полной замены существующего капитала, т.е. с течением продолжительного времени.

Введенные выше предположения относительно значений ряда параметров позволяют разрешить систему долгосрочного равновесия и откалибровать соответствующие параметры первой группы по построенной матрице социальных счетов.

Перейдем к калибровке параметров, обуславливающих динамику модели. Параметр жесткости цен Ψ_p в каждой отрасли калибруется равным 35, что в стандартной лог-линеаризованной модели с ценообразованием по Кальво будет соответствовать средней продолжительности ценового контракта, равной трем кварталам. Параметр издержек изменения заработных плат калибруется на таком же уровне. В модели предполагаем относительно сильные привычки в потреблении домашних хозяйств и считаем параметр h равным

0,85, что согласуется с калибровкой модели мировой экономики Банка Канады [41]. Для ряда параметров будем использовать оценки, полученные Сметсом и Воутерсом [67] для Европы. Так, параметр издержек на установку капитала ψ_I равен 6, параметр издержек загрузки капитала ψ_u равен 5,7, эластичность предложения труда по заработной плате $1/\psi$ равна 0,8.

Параметр издержек по размещению (покупке) облигаций на международном финансовом рынке ψ_B калибруется к величине 0,01. Эластичность замещения между торгуемыми отечественными и импортными товарами в CES-функциях потребления домашними хозяйствами и инвестиций, как и эластичность спроса внешнего сектора на торгуемые отечественные товары, была задана на уровне 2,5, эластичность замещения между неторгуемыми и торгуемыми товарами задана на уровне 0,75. Параметр автокорреляции ρ_{Oil} процесса мировых цен на нефть калибруется на уровне 0,95. Данные значения лежат в приемлемом диапазоне калибровки современных прикладных моделей общего равновесия.

3. Численный имитационный анализ

Настоящий раздел посвящен численному имитационному анализу, в рамках которого анализируются динамические функции импульсного отклика основных макроэкономических переменных в ответ на рост мировых цен на нефть. На первом этапе численного имитационного анализа проводилась линеаризация исходной системы динамических нелинейных уравнений модели до первого порядка около долгосрочного равновесия, в результате чего динамика макроэкономической системы становится представимой в виде системы линейных разностных уравнений с рациональными ожиданиями:

$$(58) \quad A_0 E_t \xi_{t+1} = A_1 \xi_t + B_0 u_t,$$

где ξ_t – вектор переменных модели в отклонениях от долгосрочного равновесия; элементы матриц A_0 , A_1 , B_0 являются нелинейными функциями от структурных параметров модели; u_t – вектор структурных шоков.

Используя подход линеаризации модели до первого порядка, мы не учитываем влияние размера волатильности шоков на траектории макроэкономических переменных и абстрагируемся от таких эффектов, как сбережения из-за мотива предосторожности. При детальном изучении данных вопросов можно было бы использовать методы линеаризации более высоких порядков.

Если некоторый набор параметров обеспечивает существование и единственность равновесия, что выполняется для параметризации модели настоящей работы, то систему (58) можно разрешить, используя численные методы, и представить решение в виде векторной авторегрессии (см., например: [5; 13; 66]):

$$(59) \quad \xi_t = A \xi_{t-1} + B u_t,$$

где матрицы A и B также являются некоторыми нелинейными функциями от структурных параметров модели.

Для разрешения линеаризованной модели настоящей работы использовался алгоритм Кристофера Симса [66]. Все вычисления проведены в программной платформе Dynare [2] с использованием Matlab. Представление решения модели в виде векторной авторегрессии позволяет строить динамические функции импульсного отклика макроэкономических переменных в ответ на структурные экономические шоки. В настоящей статье мы ограничиваем анализ шока роста мировых цен на нефть.

На рис. 1–10 представлены функции импульсного отклика основных макроэкономических переменных на 10-процентный рост мировых цен на нефть. Временной период по оси X соответствует одному кварталу. Ось Y отражает процентное отклонение соответствующей переменной от долгосрочного равновесия. Счет текущих операций представлен как отношение к номинальному ВВП в процентном выражении.

Рост мировых цен фактически является трансфертом богатства из внешнего мира экономическим агентам отечественной экономики, который распределяется между государством и домашними хозяйствами. При этом, так как шок мировых цен является временным, домохозяйства часть своего дополнительного дохода сберегают ввиду сглаживания потребления во времени, а оставшуюся часть тратят на потребление. Рост расходов государства и домашних хозяйств на конечное потребление товаров и услуг соответствует росту агрегированного спроса в экономике.

Данное увеличение совокупного спроса приводит к росту реального ВВП на 0,5% в краткосрочной перспективе. Реальные инвестиции в первый период времени увеличиваются на 1% и достигают максимума в 2,7% примерно через 1,5 года. Потребление домашних хозяйств так же имеет куполообразный отклик с изначальным ростом в 0,5% и максимумом в 1,2%. Куполообразный отклик потребления домохозяйств обусловлен привычками в потреблении, а инвестиций – издержками на установку капитала.

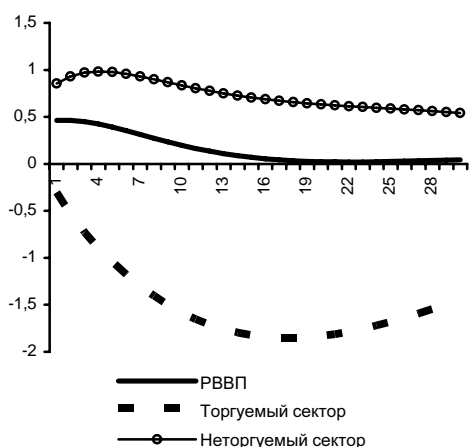


Рис. 1. Реальный выпуск

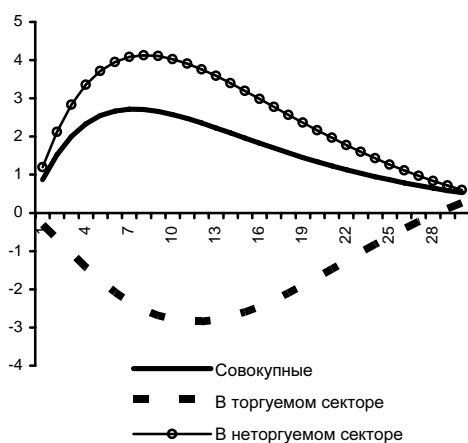


Рис. 2. Реальные инвестиции

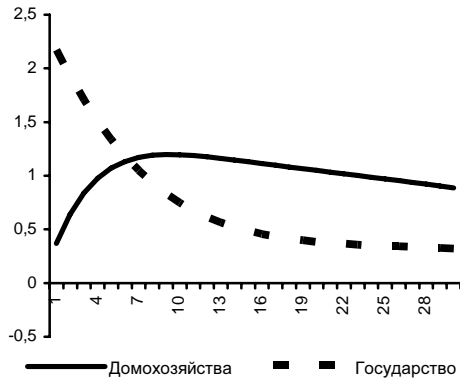


Рис. 3. Реальное потребление

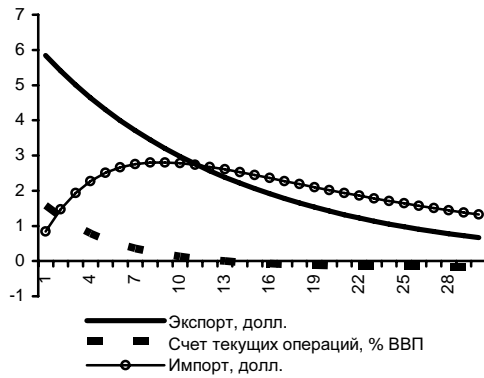


Рис. 4. Показатели внешнего сектора

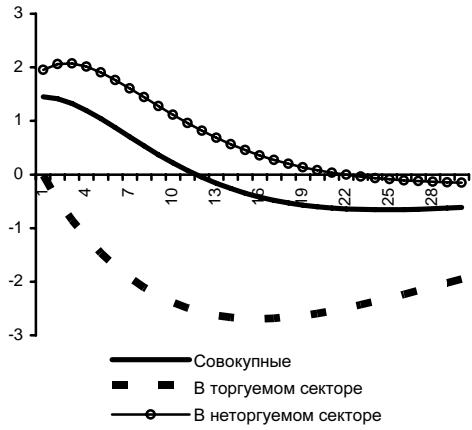


Рис. 5. Отработанные часы

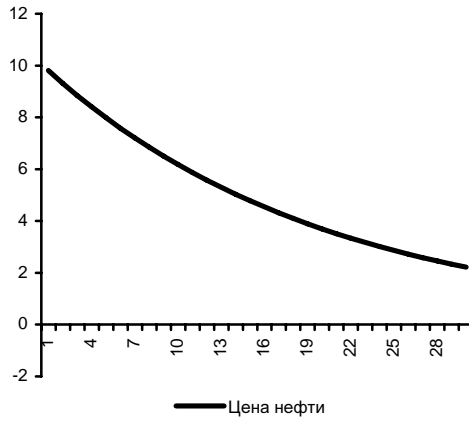


Рис. 6. Цена нефти на внешнем рынке

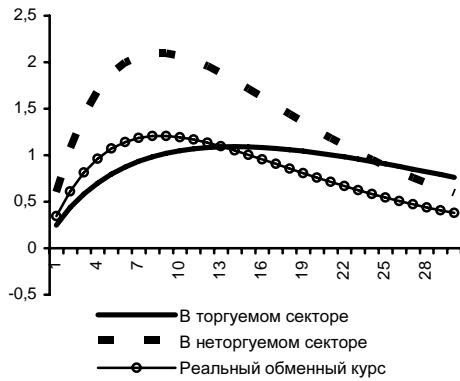


Рис. 7. Относительные цены

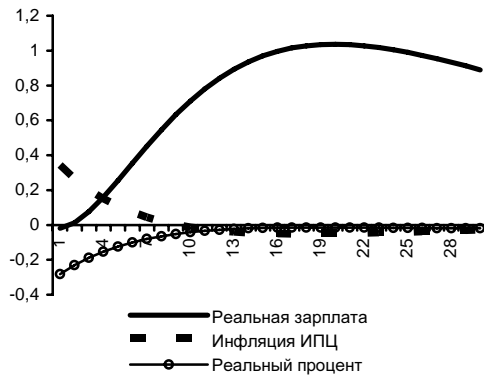


Рис. 8. Другие ценовые показатели

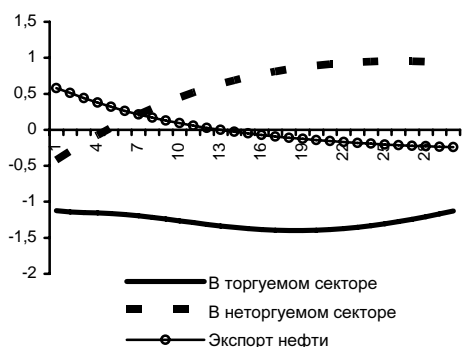


Рис. 9. Нефть

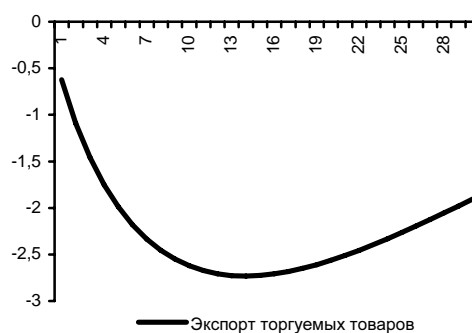


Рис. 10. Экспорт торгуемых товаров

Рост агрегированного спроса непосредственно ведет к росту спроса на все факторы производства со стороны фирм. В частности, увеличивается спрос на труд, что оказывает повышающее давление на реальные заработные платы. Однако из-за роста потребления домашними хозяйствами наблюдается эффект дохода на предложение труда, который сокращает предложение труда при каждой реальной заработной плате.

Таким образом, наблюдается повышающее давление на реальные заработные платы, как со стороны предложения, так и со стороны спроса на рынке труда. Но рост реальных заработных плат происходит постепенно, что обуславливается издержками на изменение номинальных заработных плат у домохозяйств. Так как заработная плата является одной из статей расходов фирм, данный рост оказывает повышающее давление на предельные издержки фирм. Тем не менее рост мировых цен на нефть непосредственно ведет к росту цен на нефть на внутреннем рынке. И, соответственно, происходит повышение цены другого фактора производства – энергии, что оказывает дополнительный вклад в повышение предельных издержек фирм.

В свою очередь, в ответ на рост предельных издержек фирмы вынуждены поднимать цены на свою продукцию. Таким образом, наблюдается рост цен товаров торгового и неторгового производственных секторов экономики. Здесь так же не наблюдается резкого скачка цен в связи со специфицированным в модели механизмом ценообразования по Ротембергу. В связи с чем относительные цены в торговом и неторговом секторах по отношению к импортным товарам демонстрируют куполообразный отклик. Пик роста цен в неторговом секторе составляет порядка 2% через два года, а пик роста цен в торговом секторе составляет порядка 1% через три года. Таким образом, наблюдается укрепление национальной валюты.

Данный рост предельных издержек и цен оказывает отрицательный эффект на выпуск торгового сектора. Это происходит из-за того, что торгуемые товары в большей мере конкурируют с импортными товарами по сравнению с товарами неторгового сектора. Так, любой рост цен на товары отечественного торгового сектора сопряжен с падением внешнего спроса, соответствующего сдвигу вдоль кривой спроса. Как следует из графиков, низшая точка падения экспорта торгуемых товаров соответствует спаду порядка 2,5% через 3 года.

На внутреннем же рынке наблюдается рост агрегированного спроса на торгуемый товар. Но большая часть спроса сконцентрирована на неторгуемом выпуске, так как основной составляющей государственного потребления являются неторгуемые товары. И, соответственно, расширение агрегированного спроса на внутреннем рынке ввиду большой степени конкуренции отечественных торгуемых товаров с импортными товарами не может компенсировать рост цен данного продукта. Таким образом, наблюдается падение выпуска торгуемого сектора порядка 1,8% через 4 года.

При падении выпуска торгуемого сектора наблюдается сокращение всех используемых факторов производства в данном секторе и перераспределение их в пользу производства неторгуемых товаров. Так, глубина падения отработанных часов составляет порядка 2,5%, а использованной энергии (нефти) –1,3%. В свою очередь, снижение использования данных двух факторов производства снижает поток будущих предельных продуктов капитала, что оказывает отрицательное влияние на теневую цену капитала. А превышение цены инвестиционного товара над теневой ценой капитала ведет к снижению инвестиций в торгуемом секторе. Таким образом, глубина падения инвестиций в торгуемом секторе составляет порядка 3%.

Диаметрально противоположные эффекты наблюдаются в неторгуемом секторе. Так как данный сектор в меньшей степени конкурирует с импортными товарами, рост спроса на неторгуемые товары компенсирует рост цен в связи с увеличением предельных издержек. И выпуск данного сектора растет на 1% в среднесрочной перспективе. Рост выпуска сопровождается ростом отработанных часов в неторгуемом секторе, который происходит как за счет роста совокупных отработанных часов в экономике, так и их перераспределения из торгуемого сектора в пользу неторгуемого сектора. Количество использованной нефти же в неторгуемом секторе демонстрирует краткосрочное падение, что объясняется замещением нефти трудом в период, пока цены на нефть еще высоки, а заработные платы еще выросли не так значительно. В дальнейшем же наблюдается рост использованной нефти в неторгуемом секторе.

В свою очередь, рост отработанных часов и рост использованной нефти в среднесрочной перспективе повышают поток предельных продуктов капитала во времени, что оказывает положительное воздействие на теневую цену капитала в неторгуемом секторе. И ее превышение над ценой инвестиционного товара ведет к инвестиционному буму в рассматриваемом секторе.

Стоит обратить особое внимание, что рассматриваемые изменения в выпуске обусловлены именно изменением степени использования факторов производства. При этом в рамках модели не происходит никакого изменения в совокупной факторной производительности. В реальности же достаточно сложно измерить степень загрузки используемых факторов в производственном процессе, и в связи с ошибками измерения шоки цен на нефть, как и другие нетехнологические экзогенные возмущения, могут просочиться в оцененную совокупную факторную производительность. В данном случае возможна ситуация, когда соответствующие изменения в совокупной факторной производительности будут трактоваться как технологические изменения, несмотря на то, что в действительности таковых могло и не наблюдаться.

Что касается показателей внешней торговли, то счет текущих операций является положительным в течение первых трех лет с изначальным ростом в 1,8% к ВВП, после чего он становится отрицательным. Положительная динамика счета текущих операций

в краткосрочном периоде объясняется сглаживанием потребления домашних хозяйств во времени. Данный эффект усиливается за счет привычек в потреблении, которые обуславливают дополнительную инерционность динамики потребления домашних хозяйств. Таким образом, в течение первых трех лет происходит накопление чистых иностранных активов. После чего счет текущих операций становится отрицательным, и домохозяйства потребляют накопленные активы. Совокупный экспорт в долларовом выражении растет на 6% в первый период времени, после чего начинает асимптотически выходить на долгосрочный уровень. Данная динамика в основном обусловлена динамикой мировых цен на нефть, несмотря на падение экспорта торгуемых товаров. Импорт же имеет куполообразный отклик, что обусловлено куполообразным откликом реального потребления и инвестиций.

Если проводить связь данного имитационного анализа с российской действительностью, то можно привести аргументы против полученных результатов, а именно: в течение 2000-х годов, когда наблюдался рост мировых цен на нефть, производство промышленного сектора также показывало значительный рост. Но данные численные симуляции построены при предположении, что экономику выводит из равновесия только шок цен на нефть, т.е. в предположении отсутствия других экзогенных возмущений. Одной из гипотез объяснения данного факта является то, что в России в этот период времени наблюдался значительный рост производительности, как в торгуемом, так и в неторгуемом секторе, что компенсировало негативный эффект от роста мировых цен на нефть на российский промышленный сектор.

Следует также рассматривать первоисточники роста цен на нефть. Так, например, если первоисточником был значительный рост производительности в мировой экономике, в частности в Китае, то данный фактор мог стимулировать совокупный спрос в мировой экономике, как на ресурсы, так и на ряд промышленных товаров, включая товары российского производства, в том числе другие ресурсные, неэнергетические статьи отечественного экспорта. Гипотеза о том, что значительный рост мировых цен на нефть в течение 2000-х годов обусловлен, прежде всего, ростом мирового спроса, согласуется с работой Килиана [36], в которой проводилась эконометрическая оценка факторов изменения мировых цен на нефть. Таким образом, в рамках настоящей модели данную ситуацию следует рассматривать как одновременный шок роста цен на нефть и спроса на торгуемые отечественные товары со стороны внешнего сектора. Данные аспекты являются частью дальнейшего исследования.

Заключение

В настоящей работе предложена динамическая стохастическая модель общего равновесия для малой открытой экономики с высокой зависимостью от экспорта нефти. С помощью откалиброванной модели проанализирован эффект от роста мировых цен на нефть. Полученные результаты в рамках численных симуляций приводят к интерпретируемым и непротиворечивым выводам, которые на качественном уровне согласуются с российской действительностью.

Для получения же более точных количественных оценок необходима непосредственная оценка параметров модели на исторических данных, что является дальнейшим направлением исследования. Также достаточно актуальным является вопрос, насколько

хорошо модель способна воспроизводить динамику российских макроэкономических переменных во время кризиса 2008 г. Здесь было бы интересно получить разложение падения выпуска и других макроэкономических переменных по ряду экзогенных шоков.

* *

*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Abel A.B.* Asset Prices under Habit Formation and Catching up with the Joneses // *American Economic Review*. 1990. № 80 (2). P. 38–42.
2. *Adjemian A., Bastani H., Juillard M., Mihoubi F., Perendia P., Ratto M., Villemot S.* Dynare: Reference Manual, version 4: Dynare Working Papers № 1. CEPREMAP. 2011.
3. *Adolfson M., Laseen S., Linde J., Villani M.* Bayesian Estimation of an Open Economy DSGE Model with Incomplete Pass-through // *Journal of International Economics*. 2007. № 72 (2). P. 481–511.
4. *Altig D., Christiano L.J., Eichenbaum M., Linde J.* Firm-specific Capital, Nominal Rigidities and the Business Cycle // *Review of Economic Dynamics*. 2011. № 14 (2). P. 225–247.
5. *Anderson G., Moore G.* A Linear Algebraic Procedure for Solving Linear Perfect Foresight Models // *Economic Letters*. 1985. № 17 (3). P. 247–252.
6. *Arrow K.J., Chenery H.B., Minhas B.S., Solow R.M.* Capital-labor Substitution and Economic Efficiency // *Review of Economics and Statistics*. 1961. № 43 (3). P. 225–250.
7. *Backus D.K., Crucini M.J.* Oil Prices and Terms of Trade // *Journal of International Economics*. 2000. № 50 (1). P. 185–213.
8. *Berndt E.R., Christensen L.R.* The Internal Structure of Functional Relationships: Separability, Substitution and Aggregation // *Review of Economic Studies*. 1973. № 40 (3). P. 403–410.
9. *Berndt E.R., Wood D.O.* Technology, Prices, and the Derived Demand for Energy // *Review of Economics and Statistics*. 1975. № 57 (3). P. 259–268.
10. *Berndt E.R., Wood D.O.* Engineering and Econometric Interpretations of Energy-capital Complementarity // *American Economic Review*. 1979. № 69 (3). P. 342–354.
11. *Bils M., Klenow P.* Some Evidence on the Importance of Sticky Prices // *Journal of Political Economy*. 2004. № 112 (5). P. 947–985.
12. *Blanchard O.J., Gali J.* Labor Markets and Monetary Policy: A New Keynesian Model with Unemployment // *American Economic Journal: Macroeconomics*. 2010. № 2 (2). P. 1–30.
13. *Blanchard O.J., Kahn C.M.* The Solution of Linear Difference Models under Rational Expectations // *Econometrica*. 1980. № 48 (5). P. 1305–1311.
14. *Calvo G.A.* Staggered Prices in a Utility-maximizing Framework // *Journal of Monetary Economics*. 1983. № 12 (3). P. 383–398.
15. *Campbell J.Y., Cochrane J.H.* By Force of Habit: A Consumption-based Explanation of Aggregate Stock Market Behavior // *Journal of Political Economy*. 1999. № 107 (2). P. 205–251.
16. *Carlstrom C.T., Fuerst T.S.* Oil Price, Monetary Policy, and Counterfactual Experiments // *Journal of Money, Credit and Banking*. 2006. № 38 (7). P. 1945–1958.
17. *Christiano L.J., Eichenbaum M., Evans C.* Nominal Rigidities and the Dynamic Effect of a Shock To Monetary Policy // *Journal of Political Economy*. 2005. № 113 (1). P. 1–45.
18. *Christoffel K., Coenen G., Warne A.* The New Area-wide Model of the Euro Area: A Micro-founded Open-economy Model for Forecasting And Policy Analysis: ECB Working Paper № 944. 2008.
19. *Deaton A., Muellbauer J.* *Economics and Consumer Behavior*. N.Y.: Cambridge University Press, 1980.

20. *Detemple J.B., Zapatero F.* Asset Prices in an Exchange Economy with Habit Formation // *Econometrica*. 1991. № 59 (6). P. 1633–1657.
21. *De Walque G., Smets F., Wouters R.* Firm-specific Production Factors in a DSGE Model with Taylor Price Setting // *International Journal of Central Banking*. 2006. № 2 (3). P. 107–154.
22. *Erceg C.J., Guerrier L., Gust C.* SIGMA: A New Open Economy Model for Policy Analysis // *International Journal of Central Banking*. 2006. № 2 (1). P. 111–144.
23. *Erceg C.J., Henderson D.W., Levin A.T.* Optimal Monetary Policy with Staggered Wage and Price Contracts // *Journal of Monetary Economics*. 2000. № 46 (2). P. 281–313.
24. *Finn M.G.* Perfect Competition and the Effects of Energy Price Increases on Economic Activity // *Journal of Money, Credit and Banking*. 2000. № 32 (3). P. 400–416.
25. *Fuhrer J.C.* Habit Formation in Consumption and its Implication for Monetary-policy Models // *American Economic Review*. 2000. № 90 (3). P. 367–390.
26. *Gali J., Gertler M., Lopez-Salido D.* European Inflation Dynamics // *European Economic Review*. 2001. № 45 (7). P. 1237–1270.
27. *Getler M., Sala L., Trigari A.* An Estimated Monetary DSGE Model with Unemployment and Staggered Nominal Wage Bargaining // *Journal of Money, Credit and Banking*. 2008. № 40 (8). P. 1713–1764.
28. *Golosov M., Lucas R.E.* Menu Costs and Phillips Curves // *Journal of Political Economy*. 2007. № 115 (2). P. 171–199.
29. *Griffin J.M., Gregory P.R.* An Intercountry Translog Model of Energy Substitution Responses // *American Economic Review*. 1976. № 66 (5). P. 845–857.
30. *Hayashi F.* Tobin's Marginal q and Average q : A Neoclassical Interpretation // *Econometrica*. 1982. № 50 (1). P. 213–224.
31. *Horvath M.* Sectoral Shocks and Aggregate Fluctuations // *Journal of Monetary Economics*. 2000. № 45 (1). P. 69–106.
32. *Hudson E., Jorgenson D.* U.S. Energy Policy and Economic Growth, 1975–2000 // *Bell Journal of Economics and Management Science*. 1974. № 5 (2). P. 461–514.
33. *Jorgenson D.W.* Capital Theory and Investment Behavior // *American Economic Review*. 1963. № 53 (2). P. 247–259.
34. *Jorgenson D.W., Goettle R.J., Ho M.S., Wilcoxon P.J.* Energy, The Environment, and U.S. Economic Growth. Chapter in *Handbook of Computable General Equilibrium Modeling* / ed. by P.B. Dixon, D.W. Jorgenson. Amsterdam: North-Holland, 2012. № 1A. P. 477–552.
35. *Juillard M.* Dynare: A Program for the Resolution and Simulation of Dynamic Models with Forward Variables through the Use of a Relaxation Algorithm: CEPREMAP Working Papers (Couverture Orange) № 9602. 1996.
36. *Kilian L.* Not Oil Price Shocks Are Alike: Disentangling Demand and Supply Shocks in the Crude Oil Market // *American Economic Review*. 2009. № 99 (3). P. 1053–1069.
37. *Kim I.-M., Loungani P.* The Role of Energy in Real Business Cycle Models // *Journal of Monetary Economics*. 1992. № 29 (2). P. 173–189.
38. *Klenow P.J., Kryvtsov O.* State-dependent or Time-dependent Pricing: Does it Matter for Recent U.S. Inflation? // *Quarterly Journal of Economics*. 2008. № 123 (3). P. 863–904.
39. *Kydland F., Prescott E.C.* Time to Build and Aggregate Fluctuations // *Econometrica*. 1982. № 50 (6). P. 1345–1370.
40. *Kumhof M., Laxton D., Muir D., Mursula S.* The Global Integrated Monetary and Fiscal Model (GIMF) – Theoretical Structure: IMF Working Paper № 10/34. 2010.
41. *Lalonde R., Muir D.* The Bank of Canada's Version of the Global Economy Model (BoC-GEM): Bank of Canada Technical Report № 98. 2007.
42. *Lama R., Medina J.P.* Is Exchange Rate Stabilization an Appropriate Cure for the Dutch Disease? // *International Journal of Central Banking*. 2012. № 8 (1). P. 5–46.
43. *Lee D., Wolpin K.I.* Intersectoral Labor Mobility and the Growth of the Service Sector // *Econometrica*. 2006. № 74 (1). P. 1–46.

44. *Leduc S., Sill K.* A Quantitative Analysis of Oil-price Shocks, Systematic Monetary Policy and Economic Downturns // *Journal of Monetary Economics*. 2004. № 51 (4). P. 781–808.
45. *Lombardo G., Vestin D.* Welfare Implications of Calvo vs. Rotemberg-pricing Assumptions // *Economic Letters*. 2008. № 100 (2). P. 275–279.
46. *Lucas R.E.* Adjustment Costs and the Theory of Supply // *Journal of Political Economy*. 1967. № 75 (4). P. 321–334.
47. *Lucas R.E.* Econometric Policy Evaluation: A Critique // *Carnegie – Rochester Conference Series on Public Policy*. 1976. № 1. P. 19–46.
48. *Maslyuk S., Smyth R.* Unit Root Properties of Crude Oil Spot and Future Prices // *Energy Policy*. 2008. № 36 (7). P. 2591–2600.
49. *Modigliani F., Miller M.H.* The Cost of Capital, Corporate Finance and the Theory of Investment // *American Economic Review*. 1958. № 48 (3). P. 261–297.
50. *Modigliani F., Miller M.H.* Dividend Policy, Growth, and the Valuation of Shares // *Journal of Business*. 1961. № 34 (4). P. 411–433.
51. *Mortensen D., Pissarides C.* Job Creation and Job Destruction in the Theory of Unemployment // *Review of Economic Studies*. 1994. № 61 (3). P. 397–415.
52. *Murchison S., Rennison A.* ToTEM: The Bank of Canada's New Quarterly Projection Model: Bank of Canada Technical Report № 97. 2006.
53. *Nistico S.* The Welfare Loss from Unstable Inflation // *Economic Letters*. 2007. № 96. P. 51–57.
54. *Obstfeld M., Rogoff K.* The Unsustainable US Current Account Position Revisited: NBER Working Paper № 10869. 2004.
55. *Pesenti P.* The Global Economy Model: Theoretical Framework: IMF Staff Papers. 2008. № 55 (2). P. 243–284.
56. *Pindyck R.S.* The Long-run Evolution of Energy Prices // *Energy Journal*. 1999. № 20 (2). P. 1–27.
57. *Prescott E.C.* Theory Ahead of Business Cycle Measurement // *Carnegie – Rochester Conference Series on Public Policy*. 1986. № 25. P. 11–44.
58. *Roberts J.* New Keynesian Economics and the Phillips Curve // *Journal of Money, Credit and Banking*. 1995. № 27 (4). P. 975–984.
59. *Rotemberg J.* Sticky Prices in the United States // *Journal of Political Economy*. 1982. № 90 (6). P. 1187–1211.
60. *Rotemberg J.* The New Keynesian Microfoundations / NBER Chapters // *NBER Macroeconomic Annual*. 1987. № 2. P. 69–116.
61. *Rotemberg J., Woodford M.* Imperfect Competition and the Effects of Energy Price Increases on Economic Activity // *Journal of Money, Credit and Banking*. 1996. № 28 (4). P. 549–577.
62. *Rotemberg J., Woodford M.* An Optimization Based Econometric Framework for the Evaluation of Monetary Policy / NBER Chapters // *NBER Macroeconomic Annual*. 1997. № 12. P. 297–361.
63. *Sato K.* A Two-level Constant-elasticity-of-substitution Production Function // *Review of Economic Studies*. 1967. № 34 (2). P. 201–218.
64. *Schmitt-Grohe S., Uribe M.* Closing Small Open Economy Models // *Journal of Economic Dynamics and Control*. 2003. № 61 (1). P. 163–185.
65. *Shi K.* Sectoral Labor Adjustment and Monetary Policy in a Small Open Economy // *Journal of Macroeconomics*. 2011. № 33 (4). P. 634–643.
66. *Sims C.A.* Solving Linear Rational Expectations Models // *Computational Economics*. 2002. № 20 (1–2). P. 1–20.
67. *Smets F., Wouters R.* An Estimated Dynamic Stochastic General Equilibrium Model of the Euro Area // *Journal of European Economic Association*. 2003. № 1 (5). P. 1123–1175.
68. *Smets F., Wouters R.* Comparing Shocks and Frictions in US and Euro Area Business Cycles: A Bayesian DSGE Approach // *Journal of Applied Econometrics*. 2005. № 20 (2). P. 161–183.
69. *Smets F., Wouters R.* Shocks and Frictions in US Business Cycles: A Bayesian DSGE Approach // *American Economic Review*. 2007. № 97 (3). P. 586–606.

-
70. *Solow J.L.* The Capital-energy Complementarity Debate Revisited // *American Economic Review*. 1987. № 77 (4). P. 605–614.
71. *Taylor J.* Aggregate Dynamics and Staggered Contracts // *Journal of Political Economy*. 1980. № 88 (1). P. 1–24.
72. *Uhlig H.* Explaining Asset Prices with External Habits and Wage Rigidities in a DSGE Model // *American Economic Review*. 2007. № 97 (2). P. 239–243.
73. *Woodford M.* *Interest and Prices: Foundation of Theory of Monetary Policy*. Princeton: Princeton University Press, 2003.
74. *Woodford M.* Firm-specific Capital and the New-Keynesian Phillips Curve // *International Journal of Central Banking*. 2005. № 1 (2). P. 1–46.

Development of a Dynamic Stochastic General Equilibrium Model for an Economy with High Dependence on Oil Export

Polbin Andrey

Institute for Economic Policy ET Gaidar,
3–5, Gazetnyj per., Moscow, 125009, Russian Federation.
E-mail: apolbin@gmail.com

This paper describes a dynamic stochastic general equilibrium (DSGE) model for a small open economy with high dependence on oil export. Model consists of three production sectors: tradable and non-tradable sectors and oil extraction sector. Oil is exported and is used as an intermediate input in tradable and non-tradable sectors. The model also assumes the existence of nominal and real rigidities commonly used in the literature: sticky nominal prices and wages, habits in consumption, costs of adjusting the capital stock and costs of adjusting the utilization rate of the capital. As a practical application of the calibrated model we analyze the effect of oil price shocks.

Key words: dynamic stochastic general equilibrium models; small open economy; business cycles; oil prices.

* *
*

References

- Abel A.B. (1990) Asset Prices under Habit Formation and Catching up with the Joneses. *American Economic Review*, no 80 (2), pp. 38–42.
- Adjemian A., Bastani H., Juillard M., Mihoubi F., Perendia P., Ratto M., Villemot S. (2011) *Dynare: Reference Manual*, version 4. Dynare Working Papers no 1. CEPREMAP.
- Adolfson M., Laseen S., Linde J., Villani M. (2007) Bayesian Estimation of an Open Economy DSGE Model with Incomplete Pass-through. *Journal of International Economics*, no 72 (2), pp. 481–511.
- Altig D., Christiano L.J., Eichenbaum M., Linde J. (2011) Firm-specific Capital, Nominal Rigidities and the Business Cycle. *Review of Economic Dynamics*, no 14 (2), pp. 225–247.
- Anderson G., Moore G. (1985) A Linear Algebraic Procedure for Solving Linear Perfect Foresight Models. *Economic Letters*, no 17 (3), pp. 247–252.
- Arrow K.J., Chenery H.B., Minhas B.S., Solow R.M. (1961) Capital-labor Substitution and Economic Efficiency. *Review of Economics and Statistics*, no 43 (3), pp. 225–250.
- Backus D.K., Crucini M.J. (2000) Oil Prices and Terms of Trade. *Journal of International Economics*, no 50 (1), pp. 185–213.

- Berndt E.R., Christensen L.R. (1973) The Internal Structure of Functional Relationships: Separability, Substitution and Aggregation. *Review of Economic Studies*, no 40 (3), pp. 403–410.
- Berndt E.R., Wood D.O. (1975) Technology, Prices, and the Derived Demand for Energy. *Review of Economics and Statistics*, no 57 (3), pp. 259–268.
- Berndt E.R., Wood D.O. (1979) Engineering and Econometric Interpretations of Energy-capital Complementarity. *American Economic Review*, no 69 (3), pp. 342–354.
- Bils M., Klenow P. (2004) Some Evidence on the Importance of Sticky Prices. *Journal of Political Economy*, no 112 (5), pp. 947–985.
- Blanchard O.J., Gali J. (2010) Labor Markets and Monetary Policy: A New Keynesian Model with Unemployment. *American Economic Journal: Macroeconomics*, no 2 (2), pp. 1–30.
- Blanchard O.J., Kahn C.M. (1980) The Solution of Linear Difference Models under Rational Expectations. *Econometrica*, no 48 (5), pp. 1305–1311.
- Calvo G.A. (1983) Staggered Prices in a Utility-maximizing Framework. *Journal of Monetary Economics*, no 12 (3), pp. 383–398.
- Campbell J.Y., Cochrane J.H. (1999) By Force of Habit: A Consumption-based Explanation of Aggregate Stock Market Behavior. *Journal of Political Economy*, no 107 (2), pp. 205–251.
- Carlstrom C.T., Fuerst T.S. (2006) Oil Price, Monetary Policy, and Counterfactual Experiments. *Journal of Money, Credit and Banking*, no 38 (7), pp. 1945–1958.
- Christiano L.J., Eichenbaum M., Evans C. (2005) Nominal Rigidities and the Dynamic Effect of a Shock To Monetary Policy. *Journal of Political Economy*, no 113 (1), pp. 1–45.
- Christoffel K., Coenen G., Warne A. (2008) *The New Area-wide Model of the Euro Area: A Micro-founded Open-economy Model for Forecasting And Policy Analysis*. ECB Working Paper no 944.
- Deaton A., Muellbauer J. (1980) *Economics and Consumer Behavior*, New York: Cambridge University Press.
- Detemple J.B., Zapatero F. (1991) Asset Prices in an Exchange Economy with Habit Formation. *Econometrica*, no 59 (6), pp. 1633–1657.
- De Walque G., Smets F., Wouters R. (2006) Firm-specific Production Factors in a DSGE Model with Taylor Price Setting. *International Journal of Central Banking*, no 2 (3), pp. 107–154.
- Erceg C.J., Guerrier L., Gust C. (2006) SIGMA: A New Open Economy Model for Policy Analysis. *International Journal of Central Banking*, no 2 (1), pp. 111–144.
- Erceg C.J., Henderson D.W., Levin A.T. (2000) Optimal Monetary Policy with Staggered Wage and Price Contracts. *Journal of Monetary Economics*, no 46 (2), pp. 281–313.
- Finn M.G. (2000) Perfect Competition and the Effects of Energy Price Increases on Economic Activity. *Journal of Money, Credit and Banking*, no 32 (3), pp. 400–416.
- Fuhrer J.C. (2000) Habit Formation in Consumption and its Implication for Monetary-policy Models. *American Economic Review*, no 90 (3), pp. 367–390.
- Gali J., Getler M., Lopez-Salido D. (2001) European Inflation Dynamics. *European Economic Review*, no 45 (7), pp. 1237–1270.
- Getler M., Sala L., Trigari A. (2008) An Estimated Monetary DSGE Model with Unemployment and Staggered Nominal Wage Bargaining. *Journal of Money, Credit and Banking*, no 40 (8), pp. 1713–1764.
- Golosov M., Lucas R.E. (2007) Menu Costs and Phillips Curves. *Journal of Political Economy*, no 115 (2), pp. 171–199.
- Griffin J.M., Gregory P.R. (1976) An Intercountry Translog Model of Energy Substitution Responses. *American Economic Review*, no 66 (5), pp. 845–857.
- Hayashi F. (1982) Tobin's Marginal q and Average q: A Neoclassical Interpretation. *Econometrica*, no 50 (1), pp. 213–224.
- Horvath M. (2000) Sectoral Shocks and Aggregate Fluctuations. *Journal of Monetary Economics*, no 45 (1), pp. 69–106.
- Hudson E., Jorgenson D. (1974) U.S. Energy Policy and Economic Growth, 1975–2000. *Bell Journal of Economics and Management Science*, no 5 (2), pp. 461–514.

- Jorgenson D.W. (1963) Capital Theory and Investment Behavior. *American Economic Review*, no 53 (2), pp. 247–259.
- Jorgenson D.W., Goettle R.J., Ho M.S., Wilcoxon P.J. (2012) Energy, the Environment, and U.S. Economic Growth. *Handbook of Computable General Equilibrium Modeling* (eds. P.B. Dixon, D.W. Jorgenson), Amsterdam: North-Holland, no 1A, pp. 477–552.
- Juillard M. (1996) *Dynare: A Program for the Resolution and Simulation of Dynamic Models with Forward Variables through the Use of a Relaxation Algorithm*. CEPREMAP Working Papers (Couverture Orange) no 9602.
- Kilian L. (2009) Not Oil Price Shocks Are Alike: Disentangling Demand and Supply Shocks in the Crude Oil Market. *American Economic Review*, no 99 (3), pp. 1053–1069.
- Kim I.-M., Loungani P. (1992) The Role of Energy in Real Business Cycle Models. *Journal of Monetary Economics*, no 29 (2), pp. 173–189.
- Klenow P.J., Kryvtsov O. (2008) State-dependent or Time-dependent Pricing: Does it Matter for Recent U.S. Inflation? *Quarterly Journal of Economics*, no 123 (3), pp. 863–904.
- Kydland F., Prescott E.C. (1982) Time to Build and Aggregate Fluctuations. *Econometrica*, no 50 (6), pp. 1345–1370.
- Kumhof M., Laxton D., Muir D., Mursula S. (2010) *The Global Integrated Monetary and Fiscal Model (GIMF) – Theoretical Structure*. IMF Working Paper no 10/34.
- Lalonde R., Muir D. (2007) *The Bank of Canada's Version of the Global Economy Model (BoC-GEM)*. Bank of Canada Technical Report no 98.
- Lama R., Medina J.P. (2012) Is Exchange Rate Stabilization an Appropriate Cure for the Dutch Disease? *International Journal of Central Banking*, no 8 (1), pp. 5–46.
- Lee D., Wolpin K.I. (2006) Intersectoral Labor Mobility and the Growth of the Service Sector. *Econometrica*, no 74 (1), pp. 1–46.
- Leduc S., Sill K. (2004) A Quantitative Analysis of Oil-price Shocks, Systematic Monetary Policy and Economic Downturns. *Journal of Monetary Economics*, no 51 (4), pp. 781–808.
- Lombardo G., Vestin D. (2008) Welfare Implications of Calvo vs. Rotemberg-pricing Assumptions. *Economic Letters*, no 100 (2), pp. 275–279.
- Lucas R.E. (1967) Adjustment Costs and the Theory of Supply. *Journal of Political Economy*, no 75 (4), pp. 321–334.
- Lucas R.E. (1976) Econometric Policy Evaluation: A Critique. *Carnegie – Rochester Conference Series on Public Policy*, no 1, pp. 19–46.
- Maslyuk S., Smyth R. (2008) Unit Root Properties of Crude Oil Spot and Future Prices. *Energy Policy*, no 36 (7), pp. 2591–2600.
- Modigliani F., Miller M.H. (1958) The Cost of Capital, Corporate Finance and the Theory of Investment. *American Economic Review*, no 48 (3), pp. 261–297.
- Modigliani F., Miller M.H. (1961) Dividend Policy, Growth, and the Valuation of Shares. *Journal of Business*, no 34 (4), pp. 411–433.
- Mortensen D., Pissarides C. (1994) Job Creation and Job Destruction in the Theory of Unemployment. *Review of Economic Studies*, no 61 (3), pp. 397–415.
- Murchison S., Rennison A. (2006) *ToTEM: The Bank of Canada's New Quarterly Projection Model*. Bank of Canada Technical Report no 97.
- Nistico S. (2007) The Welfare Loss from Unstable Inflation. *Economic Letters*, no 96, pp. 51–57.
- Obstfeld M., Rogoff K. (2004) *The Unsustainable US Current Account Position Revisited*. NBER Working Paper no 10869.
- Pesenti P. (2008) *The Global Economy Model: Theoretical Framework*. IMF Staff Papers. no 55 (2), pp. 243–284.
- Pindyck R.S. (1999) The Long-run Evolution of Energy Prices. *Energy Journal*, no 20 (2), pp. 1–27.
- Prescott E.C. (1986) Theory Ahead of Business Cycle Measurement. *Carnegie – Rochester Conference Series on Public Policy*, no 25, pp. 11–44.

- Roberts J. (1995) New Keynesian Economics and the Phillips Curve. *Journal of Money, Credit and Banking*, no 27 (4), pp. 975–984.
- Rotemberg J. (1982) Sticky Prices in the United States. *Journal of Political Economy*, no 90 (6), pp. 1187–1211.
- Rotemberg J. (1987) The New Keynesian Microfoundations. NBER Chapters. *NBER Macroeconomic Annual*, no 2, pp. 69–116.
- Rotemberg J., Woodford M. (1996) Imperfect Competition and the Effects of Energy Price Increases on Economic Activity. *Journal of Money, Credit and Banking*, no 28 (4), pp. 549–577.
- Rotemberg J., Woodford M. (1997) An Optimization Based Econometric Framework for the Evaluation of Monetary Policy/NBER Chapters. *NBER Macroeconomic Annual*, no 12, pp. 297–361.
- Sato K. (1967) A Two-level Constant-elasticity-of-substitution Production Function. *Review of Economic Studies*, no 34 (2), pp. 201–218.
- Schmitt-Grohe S., Uribe M. (2003) Closing Small Open Economy Models. *Journal of Economic Dynamics and Control*, no 61 (1), pp. 163–185.
- Shi K. (2011) Sectoral Labor Adjustment and Monetary Policy in a Small Open Economy. *Journal of Macroeconomics*, no 33 (4), pp. 634–643.
- Sims C.A. (2002) Solving Linear Rational Expectations Models. *Computational Economics*, no 20 (1–2), pp. 1–20.
- Smets F., Wouters R. (2003) An Estimated Dynamic Stochastic General Equilibrium Model of the Euro Area. *Journal of European Economic Association*, no 1 (5), pp. 1123–1175.
- Smets F., Wouters R. (2005) Comparing Shocks and Frictions in US and Euro Area Business Cycles: A Bayesian DSGE Approach. *Journal of Applied Econometrics*, no 20 (2), pp. 161–183.
- Smets F., Wouters R. (2007) Shocks and Frictions in US Business Cycles: A Bayesian DSGE Approach. *American Economic Review*, no 97 (3), pp. 586–606.
- Solow J.L. (1987) The Capital-energy Complementarity Debate Revisited. *American Economic Review*, no 77 (4), pp. 605–614.
- Taylor J. (1980) Aggregate Dynamics and Staggered Contracts. *Journal of Political Economy*, no 88 (1), pp. 1–24.
- Uhlig H. (2007) Explaining Asset Prices with External Habits and Wage Rigidities in a DSGE Model. *American Economic Review*, no 97 (2), pp. 239–243.
- Woodford M. (2003) *Interest and Prices: Foundation of Theory of Monetary Policy*, Princeton: Princeton University Press.
- Woodford M. (2005) Firm-specific Capital and the New-Keynesian Phillips Curve. *International Journal of Central Banking*, no 1 (2), pp. 1–46.