

Влияние межсекторальной структуры экономики на свойства DSGE-моделей¹

Антон Вотинов, Научно-исследовательский финансовый институт
avotinov@nifi.ru

Самвел Лазарян, Научно-исследовательский финансовый институт
lazaryan@nifi.ru.

Юлия Польщикова, Научно-исследовательский финансовый институт;
НИУ «Высшая школа экономики»
polshchikova@nifi.ru

В статье предлагается подход к учету межсекторального взаимодействия в модели динамического стохастического общего равновесия, заимствованный из литературы по расчетным моделям общего равновесия. Рассматриваются три версии модели: с одним сектором производства промежуточной продукции; с тремя секторами («добыча», «промышленность», «услуги»), но без межсекторального взаимодействия; с тремя секторами и с учетом межсекторального взаимодействия, при котором компании из одних отраслей потребляют продукцию других отраслей. При калибровке модели используются данные таблиц ресурсов и использования товаров и услуг в России за 2019 г. Сравнительный анализ показывает, что дополнение межотраслевой структуры приводит к появлению новых трансмиссионных каналов влияния шоков на экономику. При возникновении отраслевого шока изменение относительных цен может достаточно сильно влиять на объемы валовой добавленной стоимости и выпуска, а также на динамику импорта и инфляции. Также на результаты анализа достаточно сильно влияет ограничение на мобильность факторов производства. В случае совершенной мобильности подстройка производства происходит за счет физических объемов, при низкой мобильности или ее отсутствии подстройка происходит по большей части за счет ценовых эффектов, из-за чего меняется реакция моделируемой экономики на шоки.

Ключевые слова:

многосекторная DSGE-модель, CGE, мобильность факторов производства, фискальная политика, денежно-кредитная политика, таблицы ресурсов и использования

JEL Codes: C51, C53, C61, C68, E63

Цитирование: Votinov, A.,

Lazaryan, S. and Polshchikova, Y. (2023). The Impact of the Cross-Sectoral Economic Structure on the Properties of DSGE Models. *Russian Journal of Money and Finance*, 82(1), pp. 32–54.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 21-18-00482, см. <https://rscf.ru/project/21-18-00482/>).

1. Введение

Экономический кризис, вызванный пандемией коронавируса, показал значимость цепочек создания стоимости. В этой связи значительное влияние имеет так называемый эффект хлыста (bullwhip effect, впервые термин упоминается в работе Wright, 1961), из-за которого шок спроса с одного конца цепочки может оказать значительно превышающее изначальный импульс влияние на компании с другого конца. Более того, стало понятно, что при значительных экономических шоках начинает играть существенную роль структура экономики, как ее межотраслевая структура, так и логистика. Более подробно роль отраслей в цепочках поставок при трансмиссии шоков спроса описана в работе Ferrari (2022).

Цель данного исследования – разработать подход к созданию динамической стохастической модели общего равновесия (Dynamic Stochastic General Equilibrium, DSGE), в которой производственная структура была бы представлена, во-первых, несколькими секторами (кроме распространенного разбиения на торгуемые и неторгуемые секторы) и, во-вторых, возможностью промежуточного потребления отраслями продукции друг друга (что обычно игнорируется в классической литературе по DSGE-моделям). В каком-то смысле представленная в этой работе модель является смесью DSGE-модели и модели вычислимого общего равновесия (Computable General Equilibrium, CGE), где от последней была унаследована богатая межотраслевая структура (см. Zhai, 2008; Dixon and Jorgenson, 2013).

Структура DSGE-моделей в основном представляет собой описание деятельности основных макроэкономических агентов, к которым относятся домашние хозяйства, производственный сектор, государство и центральный банк, а также внешний сектор в случае построения модели открытой экономики. При стандартном подходе производственный сектор модели состоит из множества одинаковых фирм – производителей промежуточной продукции, действующих на рынке монополистической конкуренции, и фирм – производителей конечной продукции, которые создают итоговый товар для различных потребителей: домохозяйств, государства, экспортеров.

Также распространенный подход моделирования производственного сектора, но немного более расширенный по сравнению со стандартным заключается в выделении торгуемых и неторгуемых товаров. Одной из первых работ, в которой появилось такое разделение, является статья Stockman and Tesar (1995). В ней авторы ввели неторгуемые товары и выявили их значимость в объяснении международных деловых циклов, а также низкой межстрановой корреляции в потреблении и высокой – между сбережениями и инвестициями. В статьях Dotsey and Duarte (2008), Benigno and Thoenissen (2008), Corsetti et al. (2008), Rabanal and Tuesta (2013) подчеркивается роль неторгуемого сектора в анализе динамики реального обменного курса.

С ростом популярности использования DSGE-моделей в экономическом анализе для решения некоторых задач возникает запрос на усложнение структуры моделей, в том числе расширение производственного сектора. Увеличение в модели количества секторов в первую очередь позволяет проанализировать влияние на моделируемую экономику специфичных для сектора шоков. Например, добавление энергетической отрасли в модель становится необходимым, когда нужно проанализировать влияние шоков цен на ресурсы. Особенно такой интерес высок при построении модели для экономики, в структуре которой превалирует одна или несколько

отраслей. Так, NEMO – базовая модель Банка Норвегии для анализа денежно-кредитной политики (ДКП) и прогнозирования – выделяет в своей структуре важный для страны нефтяной сектор. В работе Gerdrup et al. (2017) подчеркивается необходимость его включения для анализа шоков цен на нефть. Более того, модель показывает, как эффекты от изменения цены на нефть зависят от изменений со стороны спроса или предложения ресурса на международном рынке. В статье Lee and Song (2015) разрабатывается модель с включением сектора жилищного строительства для оценки его влияния на бизнес-циклы в Корее. Результаты анализа показывают, что включение в модель этого сектора делает ее более точно соответствующей данным.

В целом следует отметить, что подход к разработке многосекторальных DSGE-моделей с учетом жилищного сектора или потребления товаров длительного пользования достаточно распространен в литературе (Iacoviello and Neri, 2010; Quint and Rabanal, 2014; Christiano et al., 2018). Он позволяет добавлять в модель дополнительные несовершенства и ограничения, связанные, например, с рынком заимствований. Запрос на включение подобного рода несовершенств был продиктован преимущественно глобальным финансовым кризисом 2008 г. и необходимостью его анализа с помощью макромоделей. Однако такой подход затрагивает в большей степени область потребления домохозяйств, в то время как мы концентрируемся на производственной стороне экономики.

Многосекторальные DSGE-модели строятся также для анализа движения рабочей силы между отраслями во время бизнес-циклов. Например, в статье Kim and Kim (2006) показано, что при достаточно низкой эластичности замещения труда между секторами разработанная авторами DSGE-модель с 36 отраслями демонстрирует наблюдаемую в данных США сонаправленную динамику занятости по секторам.

В качестве еще одного направления, для исследования которого рассматриваются модели с несколькими секторами, можно выделить вопросы, касающиеся климатической повестки. В последнее время активно развивается аппарат DSGE-моделирования для анализа макроэкономических последствий изменения климата и оценки эффектов соответствующей политики. Например, в работе Varga et al. (2022) на основе DSGE-модели с энергетическими секторами проводится анализ влияния политики смягчения последствий изменения климата в Европейском союзе. Авторы приходят к выводу, что издержки перехода к экономике с нулевым уровнем выбросов могут быть снижены путем налогообложения выбросов углерода и перераспределения средств в пользу уменьшения других искажающих налогов или субсидирования экологически чистого производства. В работе Conte et al. (2010) с помощью многосекторальной модели, разработанной для Европейского союза, анализируется эффективность затрат на проведение климатической политики. По результатам анализа делается вывод, что наиболее экономически обоснованная политика в этом направлении предполагает стимулирование научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) в зеленых секторах в краткосрочной перспективе с последующим переходом к стимулированию НИОКР во всех отраслях на среднесрочном горизонте. В статье Antosiewicz and Kowal (2016) для оценки политики по сокращению выбросов CO₂ также используется многосекторная DSGE-модель.

Среди работ, в которых изучается политика уменьшения эффекта глобальных изменений климата с учетом межсекторального взаимодействия, можно выделить

работу Ernst et al. (2022). Ее авторы оценивают макроэкономические последствия различных вариантов проведения политики по установлению платы за выбросы углерода на основе многосекторной DSGE-модели – версии модели EMuSe² с тремя регионами. В модель включаются 11 отраслей, которые при производстве своего товара могут использовать продукцию остальных отраслей; также предполагается возможность экологических экстерналий для учета гетерогенности в выбросах. В работе делается вывод, что введение платы за выбросы приводит вначале к рецессии в силу возросших производственных издержек. Выгоды начинают прослеживаться на среднесрочном и долгосрочном горизонтах. При этом они тем больше, чем больше стран присоединится к проведению политики по снижению выбросов.

В литературе по макроэкономическому моделированию российской экономики мало работ, где учитывалось бы межсекторальное взаимодействие. Наиболее близкая по своей структуре к описанной в настоящей статье модель представлена в работе Иващенко (2016). В ней автор строит DSGE-модель с пятью отраслями, включая энергетический сектор. Затем автор оценивает модель на российских данных и анализирует с ее помощью последствия различных шоков экономики, таких как снижение экспортных цен, ограничение доступности внешних займов, ужесточение ДКП.

В работах Дробышевского и Полбина (2015) и Крепцева и Селезнева (2017) также описываются DSGE-модели, построенные для российской экономики, в которых учитывается такой важный для нее фактор, как цена на нефть. Однако в них отсутствует связанная отраслевая структура (присутствует несколько отраслей, но не учитывается их взаимодействие между собой), а подход к моделированию производства нефти преимущественно сводится к экзогенному процессу. Можно отметить, что акцент в работах по DSGE-моделированию российской экономики в основном делается на анализ монетарных и/или фискальных (Andreyev, 2020; Вотинин и Елкина, 2018), а не сектор-специфичных шоков.

Работа структурирована следующим образом. В Разделе 2 сформулированы задачи основных агентов модели и представлено детальное описание производственного сектора. Раздел 3 содержит описание процесса калибровки модели. Результаты анализа влияния различных шоков на экономику представлены в Разделе 4. Раздел 5 расширяет анализ путем добавления ограничений по мобильности капитала между отраслями. В Разделе 6 представлена чувствительность результатов модели к жесткости цен. Основные выводы исследования сформулированы в Разделе 7.

2. Формулировка модели

В работе рассматривается модель малой открытой экономики, в которой взаимодействуют между собой домохозяйства, производственный сектор, государство, центральный банк и внешний сектор. В целом представленная модель, за исключением производственного сектора, имеет классическую структуру, во многом схожую с описанной в работе Вотинина и Лазаряна (2020). Рынок конечных товаров представлен потребительскими товарами, товарами, направленными на государственное потребление, инвестициями, а также экспортируемыми товарами. На рынке активов обращаются государственные и внешние облигации, которые покупают

² Environmental Multi-Sector Dynamic General Equilibrium model. Описание базовой модели представлено в Hinterlang et al. (2022).

домашние хозяйства. Основные инструменты фискальной политики – государственное потребление и трансферты домашним хозяйствам. Центральный банк и его ДКП в модели описываются правилом Тейлора для процентной ставки. Согласно стандартному подходу DSGE-моделирования, в модель включены реальные и номинальные жесткости, такие как издержки в динамике инвестиций и издержки ценообразования по Ротембергу (Rotemberg, 1982) соответственно. Для анализа экономических последствий вводятся шок межвременных предпочтений, шок предпочтений к труду, шок спроса на экспорт, шоки государственного потребления и процентной ставки, а также сектор-специфичные шоки.

2.1. Домашние хозяйства

Домашние хозяйства максимизируют свою полезность, которая зависит от уровня потребления C_t и труда L_t , а также шока межвременных предпочтений ξ_t^β и шока предпочтений к труду ξ_t^L . При этом домашние хозяйства тратят деньги на потребление ($P_t^C C_t$) и инвестиции ($P_t^I I_t$), получают деньги от сдачи в аренду имеющегося запаса капитала ($R_t^K K_{t-1}$), имеют трудовой доход ($W_t L_t$), получают прибыль от фирм ($\sum \Pi_t^i$), получают чистый трансферт от государства (TR_t), а также дают деньги в долг государству (B_t) и внешнему сектору (B_t^*). Таким образом, задача репрезентативного потребителя k принимает следующий вид:

$$\max \mathbb{E}_t \sum_{s=0}^{\infty} \beta^s \xi_{t+s}^\beta \left(\log(C_{t+s}(k) - \theta C_{t+s-1}) - \xi_{t+s}^L \frac{(L_{t+s}(k))^{1+\sigma^L}}{1 + \sigma^L} \right),$$

$$P_t^C C_t(k) + P_t^I I_t(k) + B_t(k) + e_t B_t^*(k) = W_t L_t(k) + R_t^K K_{t-1}(k) + \sum \Pi_t^i(k) + TR_t(k) + R_{t-1} B_{t-1}(k) + e_t R_{t-1}^* B_{t-1}^*(k),$$

где β – параметр дисконтирования, а σ^L – обратная эластичность предложения труда Фриша.

В модели предполагается, что решения по инвестициям принимают домохозяйства. Динамика капитала описывается следующим образом:

$$K_t(k) = (1 - \delta)K_{t-1}(k) + \xi_t^I \left(1 - \frac{\psi_I}{2} \left(\frac{I_t(k)}{I_{t-1}(k)} e^{\mu_t^A} - 1 \right)^2 \right) I_t(k),$$

где δ – норма амортизации, ψ_I – параметр, отвечающий за реальные издержки подстройки инвестиций, ξ_t^I – шок предельной эффективности инвестиций.

Все переменные, по которым домохозяйство производит оптимизацию, имеют соответствующий индекс k .

2.2. Государство

Государственный сектор представлен в упрощенном виде: с одной стороны, он тратит деньги на государственное потребление ($P_t^G G_t$), выплаты по облигациям, выпущенным в предыдущем периоде ($R_{t-1} B_{t-1}$), и трансферты домашним

хозяйствам (TR_t – чистые трансферты³), с другой – он финансирует расходы за счет выпуска новых государственных облигаций (B_t):

$$P_t^G G_t + TR_t + R_{t-1} B_{t-1} = B_t.$$

При этом предполагается правило консолидации бюджета, согласно которому доля государственного потребления в номинальном ВВП ($P_t^G G_t / (P_t Y_t)$) отрицательно связана с уровнем долга в экономике ($B_t / (P_t Y_t)$):

$$\frac{P_t^G G_t}{P_t Y_t} = v_{ss}^G \xi_t^G - \gamma_G \left(\frac{B_t}{P_t Y_t} - b_{ss} \right),$$

где v_{ss}^G и b_{ss} – доля государственного потребления и долга в ВВП в стационарном состоянии соответственно, γ_G – параметр, отвечающий за скорость консолидации бюджета, ξ_t^G – шок государственного потребления.

2.3. Центральный банк

ДКП в модели задается правилом Тейлора для уровня процентных ставок в экономике, что влияет на объем закупаемых домохозяйствами государственных облигаций. Уравнение динамики ключевой ставки имеет вид:

$$\frac{R_t}{R_{ss}} = \left(\frac{R_{t-1}}{R_{ss}} \right)^{\rho^{CB}} \left(\left(\frac{\pi_t}{\pi_{ss}} \right)^{\gamma^{CB}} \right)^{1-\rho^{CB}} \xi_t^{CB},$$

где $R_t (R_{ss})$ – процентная ставка в экономике в период t (в стационарном состоянии), $\pi_t (\pi_{ss})$ – инфляция в период t (в стационарном состоянии), ξ_t^{CB} – шок ДКП, ρ^{CB} – параметр сглаживания динамики процентной ставки, γ^{CB} – эластичность ключевой ставки по инфляции.

2.4. Внешний сектор

Внешний сектор в модели описывается следующими уравнениями. Уравнение для платежного баланса определяет равенство денежных потоков за границу (через оплату импорта и покупку внешних облигаций) и денежных потоков из-за границы (за счет продажи экспорта и финансирования внешних облигаций):

$$P_t^M Im_t + e_t B_t^* = P_t^{Ex} Ex_t + e_t R_{t-1}^* B_{t-1}^*,$$

где P_t^M – цена импортного товара в национальной валюте, Im_t – объем импорта, e_t – обменный курс, B_t^* – номинальный объем внешних активов у населения внутри экономики, выраженный в иностранной валюте, P_t^{Ex} – стоимость экспорта в национальной валюте⁴, R_t^* – процентная ставка по внешним активам, которая определяется следующим выражением (Schmitt-Grohé and Uribe, 2003):

³ По статистике, чистые трансферты в среднем имеют отрицательный знак, то есть при стандартном подходе рассматриваются как паушальный налог на домохозяйства.

⁴ Заметим, что в модели цены экспортной и внутренней продукции отличаются.

$$R_t^* = R_{SS}^* e^{\rho R^* (B_t^* - B_{SS}^*)} \xi_t^{R^*}.$$

Наконец, спрос на экспорт (Ex_t) определяется уравнением:

$$Ex_t = \left(\frac{P_t}{P_t^* e_t} \right)^{-\eta^F} \xi_t^{Ex} Y_t^F,$$

где η^F – параметр, отвечающий за степень влияния реального обменного курса на величину экспорта, Y_t^F – выпуск зарубежной экономики (задается экзогенно, темп изменения – это процесс авторегрессии (Autoregression, AR) первого порядка, AR(1)), P_t^* – уровень цен за границей, рост которого также представляется в модели экзогенным процессом (темп изменения – это AR(1)-процесс), ξ_t^{Ex} – шок спроса на экспорт со стороны внешнего сектора.

2.5. Производственный сектор

Ключевая особенность нашего исследования заключается в подходе к моделированию производственного сектора, который разделен на производителей промежуточного и конечного товаров.

2.5.1. Производители промежуточной продукции

Производители промежуточного товара представлены несколькими отраслями, в каждой из которых функционирует единичный континуум фирм. Производственная функция фирмы i -й отрасли имеет следующий вид (индексация по фирмам пропущена для простоты):

$$Y_t^i = \xi_t^i (K_t^i)^{\beta_{k,i}} (A_t L_t^i)^{\beta_{l,i}} Im_t^{\beta_{m,i}} \prod_j (X_t^{j,i})^{\beta_{j,i}},$$

где Y_t^i – это валовой выпуск фирмы, K_t^i – объем арендуемого капитала, L_t^i – количество нанятых работников, $X_t^{j,i}$ – объем продукции j -й отрасли, которая потребляется i -й отраслью в качестве фактора производства, Im_t^i – объем импортной продукции, которая потребляется i -й отраслью, ξ_t^i – шок производительности в отрасли i . Таким образом, фирма из отрасли потребляет труд и капитал (которые вместе с прибылью создают добавленную стоимость), а также продукцию прочих отраслей (включая продукцию своей же отрасли) и импорт. Важно, что сумма степеней в функции равна 1, то есть предполагается постоянная отдача от масштаба.

Задача производителя предполагает минимизацию издержек при заданном уровне спроса. Так как представленная выше функция имеет вид функции Кобба – Дугласа, то решение этой задачи предполагает, что структура расходов производителя не меняется, доля каждого фактора в структуре издержек постоянна. В целом допускается использование функции постоянной эластичности замещения (Constant Elasticity of Substitution, CES) с отличным от 1 показателем эластичности замещения, но в данной работе для простоты используется частный случай – функция Кобба – Дугласа. При этом функция издержек является во многом

ключевой, так как именно при ее сопоставлении со статистикой межотраслевого баланса подбираются значения параметров (вопросам калибровки параметров модели посвящен Раздел 3). Также ее преобразования используются для расчета стационарного состояния экономики (steady state). Функция издержек отрасли i имеет следующий вид:

$$TC_t^i = MC_t^i Y_t^i = R_t K_t^i + W_t L_t^i + \sum_j P_t^j X_t^{j,i} + P_t^M Im_t^i.$$

При этом каждая фирма из отрасли i максимизирует приведенный поток прибыли с учетом межвременных предпочтений домашних хозяйств, $\beta^s \xi_{t+s}^\beta (\lambda_{t+s}/\lambda_t)$, заданной функции спроса со стороны фирмы-агрегатора, $Y_t^i = (P_t^i/P_t)^{-\eta} \bar{Y}_t^i$, и издержек ценообразования по Ротембергу (Rotemberg, 1982), $\frac{\psi_P}{2} \left(\frac{P_t^i}{P_{t-1}^i} - e^{\pi_{ss}} \right)^2 \bar{Y}_t^i \bar{P}_t^i$.

$$\max_{P_t^i} \mathbb{E}_t \sum_{s=0}^{\infty} \beta^s \xi_{t+s}^\beta \frac{\lambda_{t+s}}{\lambda_t} \left[Y_{t+s}^i (P_{t+s}^i - MC_{t+s}^i) - \frac{\psi_P}{2} \left(\frac{P_{t+s}^i}{P_{t+s-1}^i} - e^{\pi_{ss}} \right)^2 \bar{Y}_{t+s}^i \bar{P}_{t+s}^i \right].$$

Итоговая цена \bar{P}_t^i в отрасли i формируется в стационарном состоянии как предельные издержки отрасли MC_t^i с учетом монополистической надбавки, а предельные издержки – это функция от стоимости издержек:

$$MC_t^i \propto R_t^{\beta_{k,i}} W_t^{\beta_{l,i}} P_t^{M\beta_{m,i}} \prod_j (P_t^j)^{\beta_{j,i}}.$$

2.5.2. Производители конечного товара

Товары конечного потребления производятся из всех типов промежуточной продукции, а также из импортных товаров. Для простоты решения также используется функция Кобба – Дугласа (которая может быть обобщена до CES-функции):

$$X_t = X_t^{M^{1-\sum_i \alpha_i^X}} \prod_i (X_t^i)^{\alpha_i^X},$$

где $X_t \in \{C_t, G_t, I_t, Ex_t\}$, X_t^i – продукция i -й отрасли, которая идет на создание товара X_t , X_t^M – импортная продукция, которая идет на создание товара X_t . При этом цена на конечную продукцию формируется следующим образом:

$$P_t^X \propto P_t^{M^{1-\sum_i \alpha_i^X}} \prod_i (P_t^i)^{\alpha_i^X}.$$

Наиболее важной составляющей производственного сектора являются балансы. Так, должны быть выполнены следующие балансы для отраслей и импортных товаров:

$$Y_t^i = \sum_j X_t^{i,j} + \sum_{X \in \{C,G,I,Ex\}} X_t^i,$$

$$Im_t = \sum_i Im_t^i + \sum_{X \in \{C, G, I, Ex\}} X_t^M,$$

где в каждом из равенств первая сумма в правой части – это та продукция, которая идет на промежуточное производство, а вторая – на конечное потребление.

Далее в работе анализируются следующие три версии модели:

- 1) модель, в которой промежуточные производители представлены только одним сектором (далее – M1);
- 2) модель, в которой представлены три типа промежуточных производителей (три отрасли), но без межсекторального взаимодействия и потребления импортного товара отраслями ($\beta_{j,i} = \beta_{m,i} = 0$ для всех j и i ; далее – M2);
- 3) многосекторальная модель с межсекторальным взаимодействием (далее – M3).

3. Калибровка модели

Для калибровки модели использовались данные межотраслевого баланса, представленные таблицами ресурсов и использования за 2019 г.⁵ (далее – ТРИ). Эти таблицы отражают, какие отрасли какое количество товаров произвели, а также какое количество товаров, услуг и факторов потребили. Всего в таблице представлен 61 товар и столько же отраслей. На основе данных таблиц можно рассчитать необходимые для межотраслевой модели показатели:

- 1) структуру валовой добавленной стоимости (в терминах использования труда и капитала, а также валовой прибыли);
- 2) структуру промежуточного потребления фирм (в терминах продукции всех отраслей и импорта);
- 3) структуру конечного потребления домашних хозяйств, государства и внешнего сектора (в терминах потребляемой продукции всех отраслей и импорта).

Для упрощения анализа ТРИ были агрегированы до трех отраслей – «добыча», «промышленность», «услуги». При этом сектор «услуги» по большей части соответствует неторгуемому сектору, а «добыча» и «промышленность» – торгуемому. Допускается использование более дезагрегированного представления, но для задачи настоящего исследования это представляется несколько избыточным.

Обратим внимание, что, согласно ТРИ (см. Табл. 1), секторы «добыча» и «услуги» являются наиболее зависимыми от факторов производства (12,9 и 13,0% издержек соответственно приходится на потребление основного капитала и 20,7 и 33,6% издержек – на оплату труда), при этом сектор «промышленность» в большей степени (по сравнению с другими) зависит от импортных товаров – их доля в структуре издержек составляет 9,7%. В сумме издержки сектора «добыча» на 66,4% зависят от промежуточных товаров (других отраслей и импортного), сектора «промышленность» – на 78,7%, сектора «услуги» – на 53,5%.

Если говорить про производство товаров для конечного потребления, то государственное потребление почти на 97,3% состоит из товара сектора «услуги». Потребление домашних хозяйств и валовое накопление основного капитала имеют

⁵ Исходные данные представлены на сайте Росстата, см. <https://rosstat.gov.ru/statistics/accounts>

примерно одинаковую структуру производства с относительно высокими долями (по сравнению с другими конечными товарами) импорта (13,4 и 17,3% соответственно), преобладающей долей услуг (55,6 и 59,9%), а также существенной долей продукции сектора «промышленность» – 26,9 и 18,7%. Экспортный товар на треть состоит из продукции сектора «добыча», остальное распределяется между продукцией секторов «промышленность» и «услуги» в пропорции примерно 2 к 1. Согласно данным, доля использования импортного товара в экспорте равна 0.

Таблица 1. Структура издержек отраслей и конечных производителей, %

	Добыча	Промышленность	Услуги	Потребление домохозяйств	Государственное потребление	Валовое накопление основного капитала	Экспорт
Добыча	17,7	19,3	2,2	4,1	0,5	4,2	36,8
Промышленность	14,9	26,8	10,0	26,9	1,8	18,7	42,8
Услуги	29,7	22,9	37,8	55,6	97,3	59,9	20,4
Импорт	4,1	9,7	3,5	13,4	0,4	17,3	0,0
Оплата труда	20,7	16,0	33,6	–	–	–	–
Потребление основного капитала	12,9	5,3	13,0	–	–	–	–

Примечание: помимо ТРИ за 2019 г. также были проанализированы ТРИ за 2016–2018 гг. Значения параметров, связанных со структурой издержек отраслей, оказались достаточно устойчивыми: разброс параметров составляет около 5% от среднего значения за период. Более ранние таблицы (за 2012–2015 гг.) несовместимы из-за смены классификатора отраслей, а также из-за отсутствия необходимой детализации (за 2000–2006 гг.).

Источник: расчеты авторов

Для целей анализа включения в модель промежуточного производства также была использована версия модели, в которой производственная функция зависит только от капитала и труда (модель M2). Так как импортный товар частично используется для создания промежуточного товара, который потом идет на производство конечного, то прямое зануление коэффициентов $\beta_{m,i}$ приведет к разбалансировке матрицы ТРИ. Таким образом, был реализован алгоритм, который корректирует структурные параметры модели в соответствии со следующими условиями:

- 1) структура ВВП по использованию зафиксирована;
- 2) продукция отраслей не идет на промежуточное потребление, а только на конечное потребление ($\beta_{m,i} = 0$, $\beta_{j,i} = 0$ для всех j и i);
- 3) отношение затрат на капитал к затратам на оплату труда для всех отраслей не должно измениться;
- 4) структура издержек сектора конечного потребления не должна сильно изменяться.

Таким образом, параметры модели, характеризующие структуру издержек промежуточных отраслей и конечных производителей, корректируются таким образом, чтобы удовлетворять условиям (1–3) выше, при этом минимизируя следующий функционал:

$$\min_{\hat{\alpha}_i^X} \sum_i \left(\frac{\hat{\alpha}_i^X - \alpha_i^X}{\alpha_i^X} \right)^2,$$

где α_i^X – это коэффициенты, отвечающие за структуру издержек конечных производителей из Табл. 1, а $\hat{\alpha}_i^X$ – аналогичные коэффициенты для случая, предполагающего выполнение условий (1–3).

Результаты работы алгоритма представлены в Табл. 2. Согласно полученным данным, основные изменения в распределении издержек затронули потребление импорта конечными производителями товаров «потребление домашних хозяйств» и «валовое накопление основного капитала» – доля импортного товара в структуре издержек выросла с 13,4–17,3 до 24,4–29,5%.

Таблица 2. Структура издержек отраслей и конечных производителей в случае урезанной модели без межотраслевого взаимодействия (модель M2), %

	Добыча	Промышленность	Услуги	Потребление домохозяйств	Государственное потребление	Валовое накопление основного капитала	Экспорт
Добыча	-	-	-	4,0	0,5	4,1	36,8
Промышленность	-	-	-	23,9	1,8	18,0	42,8
Услуги	-	-	-	42,6	97,3	53,4	20,4
Импорт	-	-	-	29,5	0,4	24,4	0,0
Оплата труда	61,5	75,1	71,8	-	-	-	-
Потребление основного капитала	38,5	24,9	28,2	-	-	-	-

Источник: расчеты авторов

Для случая только одного сектора параметры подбираются тривиально: доли потребления импортного товара при производстве конечных сохраняются, а отрасли агрегируются в одну.

Остальные параметры модели калибруются в соответствии с работой Вотинова и Лазаряна (2020).

4. Описание результатов

Разработанные три версии модели (M1, M2 и M3) были протестированы с точки зрения влияния различных стимулирующих шоков на динамику переменных. Далее представлены три вида шоков:

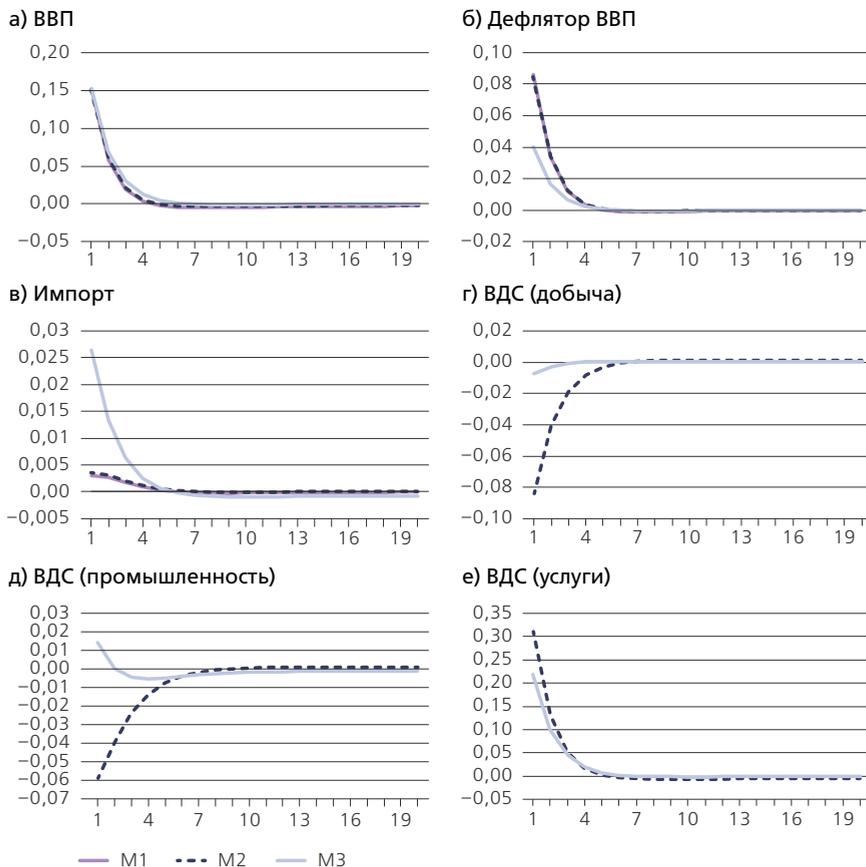
- 1) влияние инструмента фискальной политики – шока государственного потребления на экономику в целом и на валовую добавленную стоимость (ВДС) в отраслях;
- 2) влияние инструмента ДКП (шока ключевой ставки) на экономику в целом и на ВДС в отраслях;
- 3) влияние сектор-специфического шока на выпуск и ВДС в других отраслях.

В описанных ниже симуляциях размер шока равен 0,01, что равно увеличению переменной на 1% относительно своего стационарного состояния. Влияние шоков описывается AR(1)-процессом с авторегрессионным коэффициентом, равным 0,5.

4.1. Рост государственного потребления

На Рис. 1 представлено влияние шока государственного потребления на ВВП, дефлятор ВВП, импорт и ВДС отраслей для разных типов модели. Если анализировать воздействие шока на основные макропеременные, то можно заметить, что влияние данного шока на ВВП практически идентично для всех моделей. Однако в реакции импорта и дефлятора ВВП наблюдается некоторое отличие. В случае использования производственной функции, которая подразумевает включение в производственный процесс импортного товара и межсекторального взаимодействия (модель М3), шок государственного потребления приводит к росту производства товара сектора «услуги», из-за чего относительно сильно растет потребление импортного товара.

Рисунок 1. Влияние роста государственного потребления на основные макроэкономические переменные



Примечание: реакция ВВП, дефлятора ВВП, импорта и ВДС секторов «добыча», «промышленность» и «услуги» на шок государственного потребления. М1 – модель с одним сектором, М2 – модель с тремя секторами, М3 – модель с тремя секторами и межсекторальным взаимодействием.

Источник: расчеты авторов

Также в случае применения модели с межсекторальным взаимодействием (М3) реакция инфляции на шок государственного потребления относительно небольшая. Связано это прежде всего с тем, что при наличии межсекторального взаимодействия первоначальный шок распределяется более равномерно между отраслями – в этом случае рост спроса на услуги порождает также рост спроса на промежуточные товары других отраслей, что приводит к росту цен на их продукцию и, соответственно, более равномерной инфляции по отраслям.

Из-за более равномерного роста цен в экономике производители ощущают меньшее давление на цены со стороны вызванных шоком искажений, и роль издержек ценообразования по Ротембергу снижается. В каком-то смысле в случае модели М2 без межсекторального взаимодействия шок в большей степени ложится на один сектор – «услуги», производители в котором в большей степени повышают цены на факторы производства для привлечения их в свой сектор.

Согласно Табл. 1 и 2, товар «государственное потребление» состоит по большей части из неторгуемых товаров сектора «услуги», поэтому во всех моделях наблюдается рост ВДС в этом секторе. Эффект от шока государственного потребления на ВДС отраслей сильно отличается в зависимости от учета межсекторального взаимодействия или его отсутствия. Ожидаемо, что шок государственного потребления увеличивает ВДС в секторе «услуги». Динамика остальных секторов различается. В отсутствие межсекторального взаимодействия ВДС секторов «добыча» и «промышленность» в значительной степени падает. При наличии межсекторального взаимодействия (модель М3) наблюдаются положительный шок ВДС в отрасли «промышленность» и не такое сильное падение ВДС сектора «добыча». Такой эффект может частично объясняться более высокой долей товаров сектора «промышленность» по сравнению с «добычей» при производстве товаров отрасли «услуги» (см. Табл. 1). Таким образом, происходит переток факторов в сферы «услуги» и «промышленность», и, соответственно, их производство увеличивается.

4.2. Снижение процентной ставки

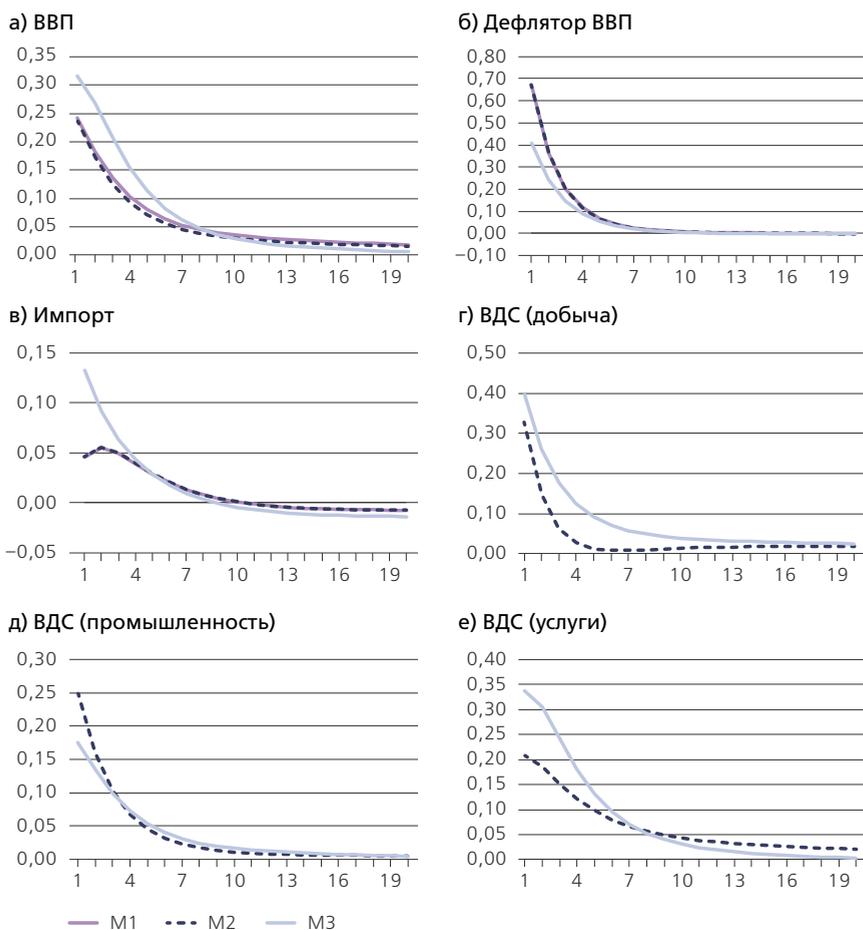
На Рис. 2 представлено влияние стимулирующей ДКП на экономику через снижение ключевой ставки центрального банка. Влияние шока на ВВП и дефлятор ВВП сильно отличается в зависимости от учета (модель М3) межотраслевого взаимодействия или его отсутствия (М1 и М2).

Заметим, что включение отраслей в модель без предположения об их взаимодействии практически не сказывается на результатах. Так, импульсные отклики на шоки моделей М1 и М2 схожи между собой. Это может быть связано прежде всего с тем, что шок распределяется более равномерно как в модели с одной отраслью, так и модели с несколькими не связанными между собой отраслями. В то время как включение взаимодействия влечет не только прямые, но и перекрестные эффекты: на отрасль уже воздействует не только сам шок, но и эффект от шока в других отраслях.

В случае модели М3 снижение ключевой ставки имеет большее позитивное влияние на ВВП и при этом меньше разгоняет инфляцию. Как уже отмечалось выше, связано это с тем, что один и тот же шок более равномерно распределяется между отраслями, из-за чего в среднем возникает меньше издержек ценообразования, инфляция растет слабее, а ВВП, не будучи подвержен влиянию искажения равновесной структуры производства, сильнее. Для более твердого убеждения в выявленном положительном эффекте снижения ставки в модели М3 представляется перспективным протестировать

различные модификации модели. Например, включить издержки ценообразования по Кальво (Calvo, 1983), а не по Ротембергу (Rotemberg, 1982). В литературе часто относятся к двум таким механизмам как к взаимозаменяемым, демонстрирующим схожесть эффектов при использовании их линеаризованной формы, однако есть и другой взгляд на проблему (Leith and Liu, 2016). Таким образом, этот вопрос остается открытым для моделей подобного типа и требует более детального изучения.

Рисунок 2. Влияние снижения процентной ставки на основные макроэкономические переменные



Примечание: реакция ВВП, дефлятора ВВП, импорта и ВДС секторов «добыча», «промышленность» и «услуги» на шок ключевой ставки. М1 – модель с одним сектором, М2 – модель с тремя секторами, М3 – модель с тремя секторами и межсекторальным взаимодействием.

Источник: расчеты авторов

С точки зрения межотраслевого взаимодействия снижение ключевой ставки приводит к более сильному росту импорта в случае модели М3, так как в этом типе модели импорт является частью издержек отраслей. Влияние шока на ВДС отраслей

неоднозначно, так как в данном случае это связано с большим количеством различных характеристик отраслей. В первую очередь влияет структура издержек производителей конечных товаров, а также структура издержек промежуточных производителей. Например, ключевая ставка влияет на доходность по капиталу, из-за чего реакция ВДС в более капиталоемких отраслях может быть сильнее. В таких отраслях снижение ставки оказывает более сильное влияние на предельные издержки, что приводит к увеличению добавленной стоимости.

4.3. Увеличение производительности по секторам

На Рис. 3 представлено влияние секторального шока, а именно производительности в секторе «добыча», на такие показатели, как ВДС, выпуск и арендуемый капитал, во всех трех секторах в зависимости от наличия межотраслевых эффектов (Рис. 3в, 3д, 3ж – модель без межотраслевого взаимодействия М2, Рис. 3г, 3е, 3з – модель М3).

Основной эффект от увеличения производительности в секторе приводит к снижению уровня издержек, требуемого для производства единицы продукции отрасли. Это приводит к снижению спроса на факторы производства и снижению цен на выпускаемую продукцию, причем для случая модели с наличием взаимодействия между секторами дезинфляционный эффект сильнее.

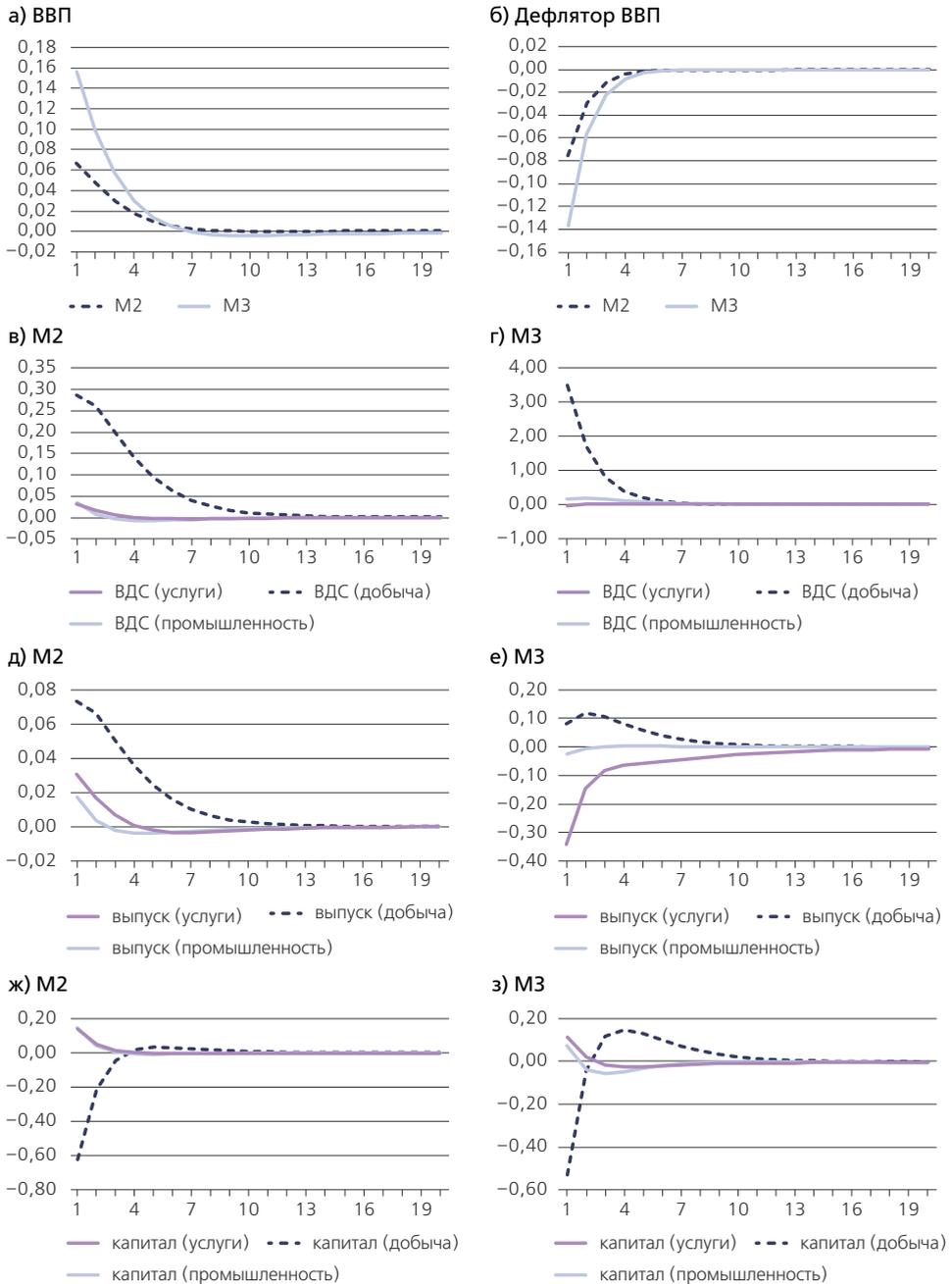
С точки зрения влияния данного шока можно выделить «эффект дохода», при котором шок производительности в секторе приводит к росту доходов домашних хозяйств, вследствие чего происходит увеличение спроса на потребляемые ими товары. Данный эффект наблюдается в модели М2 – шок приводит к росту ВДС и выпуска во всех отраслях (с преобладающим ростом для сектора «добыча»).

При этом также может наблюдаться «эффект замещения», при котором из-за снижения относительной цены товара сектора «добыча» производители конечного и промежуточного товаров (при наличии межсекторального взаимодействия) начинают закупать его в больших объемах. Данный эффект наблюдается сильнее в модели с межсекторальным взаимодействием М3. Шок производительности в секторе «добыча» приводит к снижению стоимости данной продукции, из-за чего как другие секторы, так и производители конечного товара начинают больше его скупать. Из-за такой переориентации наблюдается сильное снижение выпуска секторов «промышленность» и «услуги» и некоторое негативное влияние на их ВДС.

Достаточно важным является баланс спроса на факторы. При анализе влияния шока производительности можно выделить два интересных эффекта. Во-первых, в случае наличия межотраслевых эффектов реакция капитала сильнее, чем при их отсутствии (амплитуда реакции капитала выше в случае модели М3, см. Рис. 3ж и 3з). Так, в случае модели М3 амплитуда колебания спроса на капитал больше, чем для модели М2. Во-вторых, увеличение производительности в одном секторе приводит к снижению спроса на факторы производства, из-за чего цена на них сокращается и, соответственно, увеличивается величина спроса со стороны других секторов. При этом такой эффект наблюдается только при совершенной мобильности капитала, чего не наблюдается в реальности.

Следующий раздел работы посвящен вопросу влияния мобильности факторов на трансмиссию шоков в экономике.

Рисунок 3. Влияние временного роста производительности в секторе «добыча»



Примечание: реакция на шок ВВП (а) и дефлятора (б) в моделях M2 и M3, ВДС трех секторов в модели M2 (в) и модели M3 (г), выпуска отраслей секторов в модели M2 (д) и модели M3 (е) и объемов арендуемого капитала в модели M2 (ж) и модели M3 (з). M2 – модель с тремя секторами, M3 – модель с тремя секторами и межсекторальным взаимодействием.

Источник: расчеты авторов

5. Учет мобильности факторов производства

Как было показано на Рис. 3, текущая версия модели предполагает совершенную мобильность факторов между секторами – например, капитал будет сразу перетекать в те отрасли, в которых наблюдается увеличение спроса. В реальности факторы, в том числе труд, не могут так быстро перетекать между отраслями.

Для того чтобы учесть ограничения в мобильности факторов, предположим существование агента – дистрибьютора фактора, который закупает фактор у домашнего хозяйства, трансформирует его под нужды конкретного сектора и продает по дифференцированной цене. Один из предложенных вариантов моделирования несовершенной мобильности капитала в DSGE-модели представлен в работе Miranda-Pinto and Young (2019), в которой вводятся издержки на перемещение капитала между отраслями. Мы предлагаем рассмотреть способ ограничения в мобильности не только капитала, но и других факторов, задействованных в производственном процессе, опираясь при этом на подход, применяемый в CGE-моделировании (Ianchovichina and Martin, 2004; Zhai and Wang, 2002).

Предполагается, что дистрибьютор решает следующую задачу:

$$\begin{cases} \max_{F_t^i} \sum P_t^{F,i} F_t^i \\ s. t. F_t = CET(F_t^i; \sigma) \end{cases},$$

где первая строка – выручка от продажи факторов F_t^i i -й отрасли по цене $P_t^{F,i}$, а вторая – функция трансформации запаса фактора F_t в F_t^i , где параметр σ отвечает за эластичность трансформации (данная функция постоянной эластичности трансформации (Constant Elasticity of Transformation, CET) полностью аналогична классической CES-функции, за исключением условий на эластичность: если CES-функция имеет отрицательную эластичность замещения, то она, по сути, является CET-функцией с положительной эластичностью трансформации).

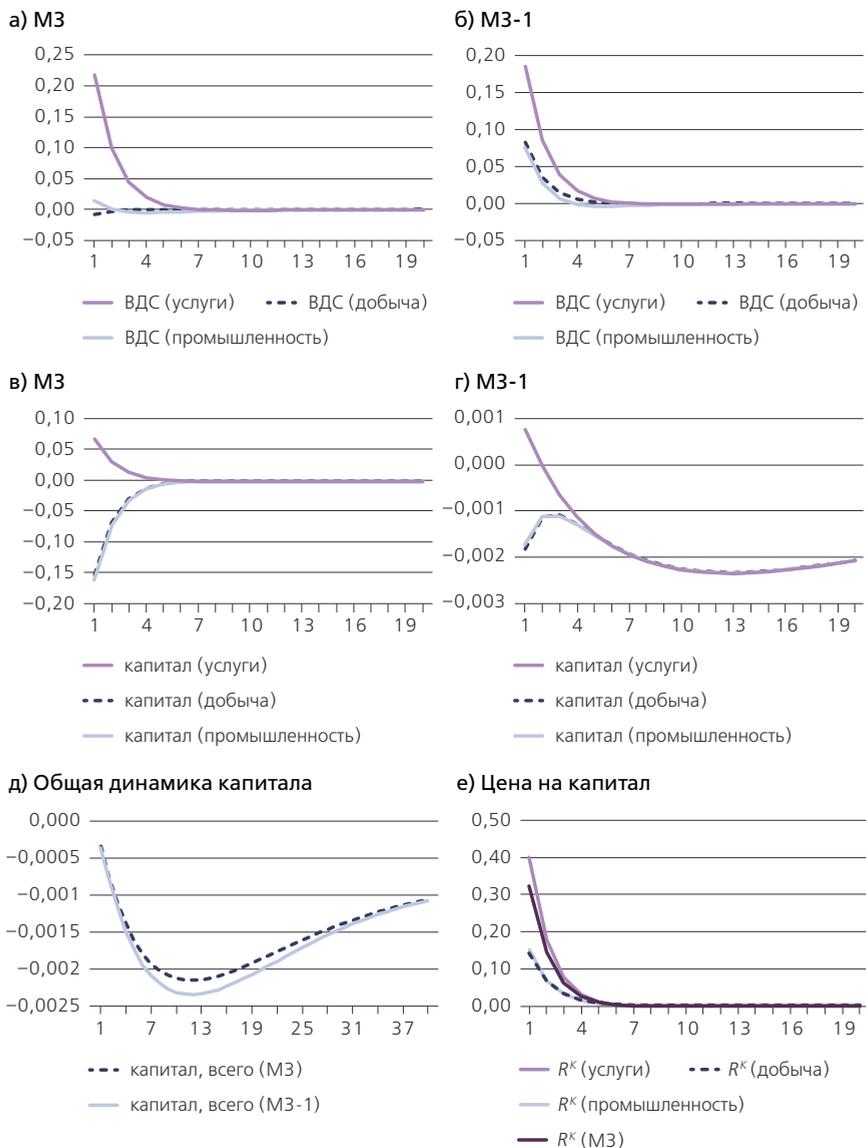
Отметим, что для данной задачи выполнено два важных свойства:

$$\begin{cases} \sum P_t^{F,i} F_t^i = P_t^F F_t \\ \sum F_t^i \leq F_t \end{cases},$$

где первое обеспечивает выполнение баланса в номинальных величинах, а второе, которое выполняется как строгое равенство в случае $P_t^{F,i} = P_t^F$, в каком-то смысле играет роль издержек ценообразования по Ротембергу/Кальво: часть фактора расходуется на «перетрансформацию». Однако стоит отметить, что в отличие от издержек ценообразования, которые формулируются в модели через зависимость от предыдущего состояния, издержки факторов в модели задаются через отклонения от их равновесного распределения. Такое отличие обеспечивает более быстрый возврат к равновесному состоянию после шока.

На Рис. 4 представлена реакция ВДС и используемого секторами капитала в ответ на шок государственного потребления для двух случаев: 1) совершенной мобильности капитала, когда реальные объемы капитальных средств могут без каких-либо дополнительных издержек перетекать между секторами (М3), и 2) практически полного отсутствия мобильности капитала (М3-1). В обоих случаях в моделях есть межсекторальное взаимодействие.

Рисунок 4. Влияние шока государственного потребления при учете мобильности капитала



Примечание: влияние шока на ВДС отраслей (а, б) и арендуемый капитал (в, г) в случаях совершенной мобильности факторов (МЗ) и отсутствия мобильности (МЗ-1), общая динамика капитала в моделях МЗ и МЗ-1 (д) и динамика цены на капитал в модели МЗ и для трех секторов в модели МЗ-1 (е).

Источник: расчеты авторов

В случае совершенной мобильности капитала шок государственного потребления приведет к резкому росту спроса на продукцию отрасли «услуги», но не приведет к значительным колебаниям ВДС других отраслей. В первую очередь это связано

с тем, что при возросшем спросе на продукцию сектора «услуги» капитал может быть быстро переброшен в данный сектор. В случае низкой мобильности капитал не может быть переброшен, из-за чего в секторе «услуги» растет требуемая доходность капитала. В этом случае относительная цена на фактор в данном секторе растет больше по сравнению с совершенной мобильностью. В конечном счете ВДС отраслей «промышленность» и «добыча» даже растет.

Если говорить про динамику самого капитала, то разница между двумя симуляциями заключается в том, что в рамках модели М3 объем капитала из секторов «добыча» и «промышленность» подстраивается под спрос и перераспределяется в пользу отрасли «услуги». Если же рассматривать модель с ограничениями на мобильность, то подстройка рынка капитала происходит по большей части за счет стоимости аренды капитала (требуемой доходности). При этом ограничения на мобильность капитала влияют на уровень капитала в экономике в целом.

6. Чувствительность результатов к жесткости цен

Добавление в модель межотраслевого взаимодействия между фирмами довольно существенно влияет на трансмиссионные механизмы. Как было показано, например, на Рис. 2, добавление такого взаимодействия приводит к большей эффективности ДКП с точки зрения стимулирования экономического роста (влияние снижения ключевой ставки на увеличение ВВП в модели М3 выше, чем в модели М2), при этом оказывает меньшее проинфляционное воздействие на экономику.

Одно из возможных объяснений данного явления связано с ценовым эффектом. В отсутствие межотраслевого взаимодействия шок спроса на продукцию одной отрасли (как для случая шока государственного потребления, которое состоит практически полностью из продукции отрасли «услуги») увеличивает цену на данную продукцию, что не имеет прямого влияния на другие отрасли. При этом данная отрасль несет все основные издержки ценообразования.

Если же в модели учтено межотраслевое взаимодействие, то шок цены на продукцию одной отрасли влияет на издержки других отраслей, что также влияет на их цены. В итоге подстройка экономики происходит сразу по всем отраслям, из-за чего издержки ценообразования распределяются по всей экономике в целом, а не концентрируются только в одной отрасли.

В Табл. 3 приведен анализ величины межотраслевого эффекта для различных шоков, который рассчитывается следующим образом:

- 1) рассчитываются значения функции импульсного отклика для заданного шока и заданной переменной для модели без межотраслевого взаимодействия (модель М2) и с ним (модель М3);
- 2) рассчитываются площади под графиком функции импульсного отклика (на горизонте 20 периодов), что отражает интегральную оценку влияния шока на показатель;
- 3) межотраслевой эффект рассчитывается как отношение площади для функций модели М3 и модели М2.

Если значение данного показателя выше 1, то добавление межотраслевого взаимодействия в модель усиливает эффект соответствующего шока на переменную. Например, значение «1,37» в первой строке Табл. 3 говорит о том, что при значении

параметра жесткости ценообразования ψ_p , равном 10, влияние шока государственно-го потребления на ВВП в 1,37 раза сильнее в модели М3 по сравнению с моделью М2.

Таблица 3. Анализ величины межотраслевого эффекта для влияния шоков на ВВП, дефлятор и импорт при разной жесткости внутренних цен

Шок	Показатель	$\psi_p = 5$	$\psi_p = 10$	$\psi_p = 30$	$\psi_p = 50$	$\psi_p = 100$	$\psi_p = 200$
Государственное потребление	ВВП	0,94	1,37	1,23	1,15	1,04	0,96
	Дефлятор	0,97	0,62	0,49	0,44	0,38	0,33
	Импорт	3,87	2,97	4,17	5,29	7,83	11,99
Ключевая ставка	ВВП	0,61	1,63	1,43	1,32	1,18	1,08
	Дефлятор	1,05	0,79	0,67	0,62	0,55	0,47
	Импорт	1,14	1,14	1,41	1,60	1,92	2,25
Производительность в секторе «добыча»	ВВП	2,87	2,04	1,89	1,88	2,01	2,40
	Дефлятор	3,49	2,31	1,82	1,63	1,42	1,27
	Импорт	3,81	2,95	3,21	3,43	3,91	4,66

Источник: расчеты авторов

В Табл. 3 показано, как величина межотраслевого эффекта связана со значением параметра жесткости ценообразования ψ_p . Отметим следующее:

- 1) практически для всех случаев (за исключением $\psi_p = 5$) учет межотраслевого взаимодействия в модели усиливает влияние шока на ВВП, ослабляет проинфляционное воздействие, а также усиливает рост объема импорта. Последний факт объясняется тем, что импорт используется на всех этапах производства, а не только при создании конечного товара;
- 2) параметр жесткости цен влияет на межотраслевой эффект нелинейно. Например, величина межотраслевого эффекта для влияния шока государственного потребления и ключевой ставки на ВВП имеет обратную U-образную зависимость от параметра ψ_p ;
- 3) увеличение жесткости цен приводит к сокращению межотраслевого эффекта для влияния шоков на темпы изменения цен. Так, например, согласно модели М3 влияние фискальных и монетарных шоков на динамику инфляции ниже по сравнению с моделью М2, причем это влияние тем ниже, чем выше параметр ψ_p .

Для неэкстремальных значений данного параметра полученные выводы о величине межотраслевого эффекта являются устойчивыми.

7. Заключение

Предложенный в работе подход к учету межсекторального взаимодействия между отраслями в DSGE-модели российской экономики по большей части заимствован из литературы по CGE. В работе показано, что дополнение классических DSGE-моделей межотраслевой структурой приводит к появлению новых трансмиссионных каналов влияния шоков на экономику.

Во-первых, в случае учета межотраслевого взаимодействия в модели начинает превалировать эффект замещения – при возникновении шока изменение относительных цен может достаточно сильно повлиять на объемы ВДС и выпуска.

Наблюдается более сильная реакция импорта, который в предложенной постановке является фактором производственного процесса. Также наблюдается более слабая реакция инфляции на фискальный и монетарный шоки, что можно связать с более равномерным распределением шока среди отраслей.

Во-вторых, было показано, что на результаты анализа влияет ограничение на мобильность факторов. В случае совершенной мобильности подстройка происходит за счет физических объемов, а цена остается неизменной. Если же мобильность факторов низкая или полностью отсутствует, подстройка происходит по большей части за счет ценовых эффектов, из-за чего меняется реакция моделируемой экономики на шоки.

В-третьих, была проанализирована чувствительность результатов моделирования к параметризации жесткости цен на внутренний товар. Было показано, что полученные качественные выводы о степени влияния фискальных и монетарных шоков в рамках моделей с межотраслевым взаимодействием или без него устойчивы к параметру жесткости изменения цен.

Данное исследование может быть расширено путем развития следующих направлений. Во-первых, за счет изучения влияния отраслевых шоков на экономику в зависимости от расположения данной отрасли в цепочке создания стоимости. Во-вторых, важным аспектом является также оценка влияния отраслевой налогово-бюджетной политики на экономику в целом – возможно, фискальные мультипликаторы сильно различаются в зависимости от стимулируемых отраслей. Наконец, представляется важным исследование влияния мобильности на эффективность экономической политики.

Список литературы

- Вотинов А. И., Елкина М. А.** Фискальное стимулирование российской экономики: оценка в рамках простой DSGE-модели с фискальным блоком // Финансовый журнал. – 2018. – № 5. – С. 83–96. doi: 10.31107/2075-1990-2018-5-83-96
- Вотинов А. И., Лазарян С. С.** Влияние трендов в данных на качество оценок параметров DSGE-моделей // Экономический журнал Высшей школы экономики. – 2020. – Т. 24. – № 3. – С. 372–390. doi: 10.17323/1813-8691-2020-24-3-372-390
- Дробышевский С., Полбин А.** Декомпозиция динамики макроэкономических показателей РФ на основе DSGE-модели // Экономическая политика. – 2015. – Т. 10. – № 2. – С. 20–42.
- Иващенко С. М.** Многосекторная модель динамического стохастического общего экономического равновесия российской экономики // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 5: Экономика. – 2016. – Вып. 3. – С. 176–202. doi: 10.21638/11701/spbu05.2016.310
- Крепцев Д., Селезнев С.** DSGE-модель российской экономики с банковским сектором // Банк России. Серия докладов об экономических исследованиях. – 2017. – № 27.
- Andreyev M.** Adding a Fiscal Rule into a DSGE Model: How Much Does It Change the Forecasts? // Bank of Russia Working Paper Series. – 2020. – N 64.
- Antosiewicz M., Kowal P.** Memo III – A Large Scale Multi-Sector DSGE Model // IBS Research Report. – 2016. – N 2.

- Benigno G., Thoenissen C.** Consumption and Real Exchange Rates with Incomplete Markets and Non-Traded Goods // *Journal of International Money and Finance*. – 2008. – Vol. 27(6). – pp. 926–948. doi: 10.1016/j.jimonfin.2008.04.008
- Calvo G. A.** Staggered Prices in a Utility-Maximizing Framework // *Journal of Monetary Economics*. – 1983. – Vol. 12(3). – pp. 383–398. doi: 10.1016/0304-3932(83)90060-0
- Christiano L. J., Eichenbaum M. S., Trabandt M.** On DSGE Models // *Journal of Economic Perspectives*. – 2018. – Vol. 32(3). – pp. 113–140. doi: 10.1257/jep.32.3.113
- Conte A., Labat A., Varga J., Žarnić Ž.** What Is the Growth Potential of Green Innovation? An Assessment of EU Climate Policy Options // *European Economy – Economic Paper*. – 2010. – N 413.
- Corsetti G., Dedola L., Leduc S.** International Risk Sharing and the Transmission of Productivity Shocks // *Review of Economic Studies*. – 2008. – Vol. 75(2). – pp. 443–473. doi: 10.1111/j.1467-937X.2008.00475.x
- Dixon P. B., Jorgenson D. W.** Chapter 1 – Introduction // *Handbook of Computable General Equilibrium Modeling, Set Vols. 1A and B / P. B. Dixon, D. W. Jorgenson, eds.* – 2013. – Vol. 1. – pp. 1–22. doi: 10.1016/B978-0-444-59568-3.00001-8
- Dotsey M., Duarte M.** Nontraded Goods, Market Segmentation, and Exchange Rates // *Journal of Monetary Economics*. – 2008. – Vol. 55(6). – pp. 1129–1142. doi: 10.1016/j.jmoneco.2008.07.011
- Ernst A., Hinterlang N., Mahle A., Stähler N.** Carbon Pricing, Border Adjustment and Climate Clubs: An Assessment with EMuSe. – *Deutsche Bundesbank Discussion Paper*. – 2022. – N 25. doi: 10.2139/ssrn.4201915
- Ferrari A.** Inventories, Demand Shocks Propagation and Amplification in Supply Chains // *arXiv Preprint*. – 2022. – arXiv:2205.03862. doi: 10.48550/arXiv.2205.03862
- Gerdrup K. R., Kravik E. M., Paulsen K. S., Robstad Ø.** Documentation of NEMO – Norges Bank's Core Model for Monetary Policy Analysis and Forecasting. – *Norges Bank Staff Memo*. – 2017. – N 8.
- Hinterlang N., Martin A., Röhe O., Stähler N., Strobel J.** Using Energy and Emissions Taxation to Finance Labor Tax Reductions in A Multi-Sector Economy: An Assessment with EMuSe // *Energy Economics*. – 2022. – Vol. 115. – Article 106381. doi: 10.1016/j.eneco.2022.106381
- Iacoviello M., Neri S.** Housing Market Spillovers: Evidence from an Estimated DSGE Model // *American Economic Journal: Macroeconomics*. – 2010. – Vol. 2(2). – pp. 125–164. doi: 10.1257/mac.2.2.125
- Ianchovichina E., Martin W.** Impacts of China's Accession to the World Trade Organization // *World Bank Economic Review*. – 2004. – Vol. 18(1). – pp. 3–27. doi: 10.1093/wber/lhh030
- Kim K., Kim Y. S.** How Important Is the Intermediate Input Channel in Explaining Sectoral Employment Comovement over the Business Cycle? // *Review of Economic Dynamics*. – 2006. – Vol. 9(4). – pp. 659–682. doi: 10.1016/j.red.2006.06.002
- Lee J., Song J.** Housing and Business Cycles in Korea: A Multi-Sector Bayesian DSGE Approach // *Economic Modelling*. – 2015. – Vol. 45. – pp. 99–108. doi: 10.1016/j.econmod.2014.11.009
- Leith C., Liu D.** The Inflation Bias under Calvo and Rotemberg Pricing // *Journal of Economic Dynamics and Control*. – 2016. – Vol. 73. – pp. 283–297. doi: 10.1016/j.jedc.2016.09.002
- Miranda-Pinto J., Young E. R.** Comparing Dynamic Multisector Models // *Economics Letters*. – 2019. – Vol. 181. – pp. 28–32. doi: 10.1016/j.econlet.2019.04.028

- Quint D., Rabanal P.** Monetary and Macroprudential Policy in an Estimated DSGE Model of the Euro Area // *International Journal of Central Banking*. – 2014. – Vol. 10(2). – pp. 169–236.
- Rabanal P., Tuesta V.** Nontradable Goods and the Real Exchange Rate // *Open Economies Review*. – 2013. – Vol. 24(3). – pp. 495–535. doi: 10.1007/s11079-012-9250-8
- Rotemberg J. J.** Monopolistic Price Adjustment and Aggregate Output // *Review of Economic Studies*. – 1982. – Vol. 49(4). – pp. 517–531. doi: 10.2307/2297284
- Schmitt-Grohé S., Uribe M.** Closing Small Open Economy Models // *Journal of International Economics*. – 2003. – Vol. 61(1). – pp. 163–185. doi: 10.1016/S0022-1996(02)00056-9
- Stockman A. C., Tesar L. L.** Tastes and Technology in a Two-Country Model of the Business Cycle: Explaining International Comovements // *American Economic Review*. – 1995. – Vol. 85(1). – pp. 168–185.
- Varga J., Roeger W., in 't Veld J.** E-QUEST: A Multisector Dynamic General Equilibrium Model with Energy and a Model-Based Assessment to Reach the EU Climate Targets // *Economic Modelling*. – 2022. – Vol. 114. – Article 105911. doi: 10.1016/j.econmod.2022.105911
- Wright F. J.** *Industrial Dynamics*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press. – 1961.
- Zhai F.** Armington Meets Melitz: Introducing Firm Heterogeneity in a Global CGE Model of Trade // *Journal of Economic Integration*. – 2008. – Vol. 23(3). – pp. 575–604.
- Zhai F., Wang Z.** WTO Accession, Rural Labour Migration and Urban Unemployment in China // *Urban Studies*. – 2002. – Vol. 39(12). – pp. 2199–2217. doi: 10.1080/0042098022000033827