

## **ВЕРСИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ СТОХАСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОБЩЕГО РАВНОВЕСИЯ ДЛЯ УСЛОВИЙ ОТКРЫТОЙ ЭКОНОМИКИ**

© 2019 г. *В.И. Балута*<sup>1,2</sup>, *Д.Н. Шульц*<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup> Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН

<sup>2</sup> Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова

<sup>3</sup> Центр экономики инфраструктуры  
vbaluta@yandex.ru, shulsts@inbox.ru

DOI: 10.1134/S0234087919110091

Представлена динамическая стохастическая модель общего равновесия для описания динамики ключевых индикаторов российской экономики. Особенностью подхода является кейнсианский микроэкономический фундамент, учитывающий несовершенство рыночных механизмов регулирования, таких как колебания спроса и предложения, негибкие цены и заработные платы. Второй специфической чертой является гипотеза рациональных ожиданий.

Модель представляет собой систему из 17 уравнений, описывающих динамику относительно своих равновесных траекторий таких ключевых макроэкономических переменных, как ВВП, инфляция и ставка процента, обменный курс, показатели экспорта и импорта.

Модель предназначена для оценки характера реакции ключевых экономических показателей на резкие изменения экзогенных факторов. С помощью построенной модели оценены эффекты влияния на ключевые макроэкономические показатели резких колебаний спроса, совокупной факторной производительности, мировой ставки процента. Результаты моделирования и проведённых расчетов могут быть использованы монетарными властями при разработке денежно-кредитной политики.

Ключевые слова: макроэкономическое моделирование, динамические стохастические модели общего равновесия; DSGE-модели.

### **A VERSION OF DYNAMIC STOCHASTIC GENERAL EQUILIBRIUM MODEL FOR OPEN ECONOMY**

*V.I. Baluta*<sup>1,2</sup>, *D.N. Shulsts*<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup> Keldysh Institute of Applied Mathematics of Russian Academy of Sciences

<sup>2</sup> Plekhanov Russian University of Economics

<sup>3</sup> Infrastructure economics center

The paper presents a dynamical stochastic model of general equilibrium for key indicators of Russian economy. A special feature of the approach is the Keynesian microeco-

conomic foundation, which takes into account market failures such as imperfect competition, inflexible prices and wages. The second specific feature is the hypothesis of rational expectations.

The model is a system of 17 equations describing the dynamics of key macroeconomic indicators such as GDP, inflation and interest rates, exchange rate, export, import, consumption relative to its equilibrium trajectories.

The model is intended to assess the nature of the reaction of key economic indicators to fluctuations in exogenous factors. Using the constructed model, the effects on key macroeconomic indicators from demand shocks, total factor productivity, and changes in the world interest rate are estimated. The results of modeling and calculations can be used by monetary authorities in the development of monetary policy.

Key words: macroeconomic modeling, dynamic stochastic General equilibrium models; DSGE-models.

## 1. Введение

На сегодняшний день в отечественной практике макроэкономического моделирования и прогнозирования преобладает эконометрический подход [1]. Альтернативный подход, получивший широкое распространение за рубежом, а в нашей стране развиваемый в рамках научной школы А.А. Петрова и И.Г. Поспелова [2, 3], опирается на модели общего экономического равновесия (DSGE-модели).

Отметим ключевые различия двух парадигм. Первое отличие – наличие микроэкономического фундамента DSGE-моделей в виде моделей поведения ключевых субъектов экономики, домашних хозяйств и предприятий реального сектора. В отличие от неоклассических моделей общего равновесия, современные DSGE-модели опираются на неокейнсианский подход [4], позволяющий учитывать «провалы рынка» – несовершенство регулирующих рыночных механизмов, в частности, таких как колебания спроса и предложения, негибкие цены и заработные платы, ограниченная и/или асимметричная информация. Соответственно, допускается стабилизирующая политика государства, направленная на максимизацию общественного благосостояния и сглаживание циклических колебаний.

Также DSGE-подход трактует равновесие динамически. То есть в каждый момент времени экономическая система может находиться в состоянии неравновесия, но стремится к равновесной траектории в долгосрочном периоде. Как следствие, стандартным является описание экономики в терминах отклонений переменных от их равновесных значений:

$$\tilde{z}_t = \ln(z_t / \bar{z}_t), \quad (1)$$

где  $\tilde{z}_t$  – процентное отклонение переменной  $z_t$  от равновесного состояния

$\bar{z}_t$ . Зачастую при моделировании экономики в краткосрочном периоде, игнорируется экономический рост  $\bar{z}_t = \bar{z}$ .

Теория рациональных ожиданий [5] допускает, что экономическим агентам недоступна вся информация. Но доступную ограниченную информацию в каждый момент времени субъекты обрабатывают предельно эффективно, используя при этом весь предыдущий опыт. В результате формируемые в момент времени  $t$  ожидания относительно значений будущей величины  $z_{t+1}$  удовлетворяют следующему условию:

$$E_t [z_{t+1}] = z_{t+1} + \varepsilon_t, \quad (2)$$

где  $E_t[z]$  – оператор рациональных ожиданий, а  $\varepsilon_t$  – процесс белого шума. Иными словами, суть теории рациональных ожиданий заключается в предположении, что отклонения ожиданий от их действительных значений носят случайный характер.

Наконец, поведенческие и структурные параметры модели не оцениваются традиционными статистическими и эконометрическими методами, а калибруются [6, с.253-284] или определяются методами байесовского оценивания [7].

Ниже представлена краткосрочная, т.е. без учёта динамики основных фондов (медленно изменяющихся параметров), DSGE-модель, учитывающая ключевые секторы современной экономики России, в частности, позволяющая описать в обобщённом виде поведение домашних хозяйств и предприятий реального сектора, а также центрального банка как регулятора, использующего инструменты инфляционного таргетирования. Конкретные значения параметров модели получены путём её калибровки на ретроспективных данных. Модель предназначена для анализа реакции ключевых экономических показателей на колебания экзогенных факторов.

## 2. Поведение домашних хозяйств

Предполагаем, что домашние хозяйства (рассматриваемые в совокупности) основной доход получают от трудовой деятельности, предлагая объём труда  $L_t$  по ставке заработной платы  $W_t$ . Основная часть дохода тратится на приобретение  $C_t$  отечественных и импортных товаров по агрегированному уровню потребительских цен  $P_t$ . Часть полученного дохода домохозяйства могут вложить в национальные активы  $D_t$ , приносящие процентный доход  $R_t$ . Например, это могут быть банковские вклады и депозиты. Тогда сегодняшние сбережения  $D_t$  трансформируются в следующем периоде в  $(1+R_t) D_t$ .

Другая часть  $D_t^W$  средств может сберегаться в иностранных активах,

приносящих процент  $R_t^W$  (иностранные ценные бумаги, банковские валютные депозиты и т.д.). Этот объём  $D_t^W$  конвертированный сегодня в иностранную валюту по (эффективному) обменному курсу  $S_t$ , трансформируется в следующем периоде в объём средств  $(D_t^W/S_t)(1+R_t^W)E_t[S_{t+1}]$ , где  $E_t[S_{t+1}]$  – ожидаемый обменный курс в периоде  $t+1$ .

Наконец, часть дохода  $M_t$  хранится в виде наличных денег ( $m_t=M_t/P_t$  представляет собой реальные денежные остатки). В итоге бюджетное ограничение домашних хозяйств, записанное через реальные (за вычетом инфляции) показатели, имеет вид

$$(C_t + m_t + d_t + d_t^W - w_t L_t)(1 + \pi_t) = m_{t-1} + (1 + R_{t-1})d_{t-1} + d_{t-1}^W \frac{(1 + R_{t-1}^W)E_{t-1}[S_t]}{S_{t-1}},$$

где  $d_t = D_t/P_t$  и  $d_t^W = D_t^W/P_t$  – реальные активы, приносящие процентный доход в национальной и иностранной валютах;  $w_t = W_t/P_t$  – реальная заработная плата;  $\pi_t = (P_t/P_{t-1}) - 1$  – уровень инфляции.

Предполагается, что домашние хозяйства максимизируют ожидаемую суммарную дисконтированную полезность, исходя из функции полезности в виде [6, с.264]:

$$U = E \left[ \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \left( \frac{C_t^{1-\sigma}}{1-\sigma} - \Phi \frac{L_t^{1+\varphi}}{1+\varphi} + \Psi \frac{m_t^{1-\psi}}{1-\psi} \right) \right] \rightarrow \max,$$

где  $\beta \in (0;1)$  – норма дисконтирования.

Решением задачи является уравнение Эйлера для потребления:

$$\beta \left( \frac{E[C_{t+1}]}{C_t} \right)^{-\sigma} = \frac{1 + E[\pi_{t+1}]}{1 + R_t}. \quad (3)$$

Функция спроса на деньги:

$$\Psi m_t^{-\psi} = C_t^{-\sigma} \left( \frac{R_t}{1 + R_t} \right). \quad (4)$$

Функция предложения труда:

$$\Phi L_t^{\varphi} = C_t^{-\sigma} w_t. \quad (5)$$

Условие непокрытого паритета процентных ставок (UIP):

$$\frac{1 + R_t}{1 + R_t^W} = \frac{E[S_{t+1}]}{S_t}. \quad (6)$$

Учтём в уравнении UIP также «премию за риск»  $\rho^*$  согласно [8, с.22]. Тогда линеаризованное уравнение (6) приобретает вид

$$s_t = E[s_{t+1}] + (R_t^W - R_t + \rho^*), \quad (7)$$

где  $s_t = \ln S_t$ . В силу малых значений  $R_t^W$  и  $R_t$ , при выводе уравнения (7) использовалась аппроксимация  $\ln(1+x) \approx x$  при  $x \approx 0$ .

### 3. Моделирование структуры потребления

Декомпозицию суммарного потребления  $C_t$  на потребление отечественных  $C_{H,t}$  и импортных товаров  $C_{F,t}$  будем проводить в соответствии с процедурой, описанной в [9, с.362-364]. Для этого решим задачу максимизации<sup>1</sup> композитного потребления:

$$C_t = \left( (1-\delta)^{1/\theta} C_{H,t}^{(\theta-1)/\theta} + \delta^{1/\theta} C_{F,t}^{(\theta-1)/\theta} \right)^{\theta/(\theta-1)} \rightarrow \max \quad (8)$$

при бюджетном ограничении:

$$P_{H,t} C_{H,t} + P_{F,t} C_{F,t} = P_t C_t. \quad (9)$$

Здесь  $P_t$  – стоимость потребительской корзины, составленной из отечественных и импортных благ.  $C_{H,t}$  и  $C_{F,t}$  – потребление отечественных и импортных благ по ценам  $P_{H,t}$  и  $P_{F,t}$ .  $\delta \in (0;1)$  – доля импортных товаров в потреблении, а  $\theta > 1$  – параметр, отражающий склонность населения к диверсификации потребительской корзины.

Решением задачи максимизации (8) при ограничении (9) являются функции спроса на отечественные и импортные товары:

$$\frac{C_{H,t}}{C_t} = (1-\delta)^\theta \left( \frac{P_{H,t}}{P_t} \right)^{-\theta}, \quad (10)$$

$$\frac{C_{F,t}}{C_t} = \delta^\theta \left( \frac{P_{F,t}}{P_t} \right)^{-\theta}. \quad (11)$$

<sup>1</sup> Решение двойственной задачи (минимизация бюджетных расходов  $P_{H,t} C_{H,t} + P_{F,t} C_{F,t}$  при заданном композитном потреблении  $C_t$ ) позволяет получить тот же результат.

#### 4. Моделирование реального сектора

Для моделирования реального сектора требуется модель ценообразования на отечественные товары в условиях несовершенной конкуренции и производственная функция, описывающая технологический процесс для отечественных товаров.

Для её формирования используются модели ценообразования Кальво [10] и Ротемберга [11]. В первой предполагается, что не все фирмы могут устанавливать оптимальные цены, во второй предполагается, что потери фирм при отклонении фиксированных цен от оптимальных могут быть описаны квадратичной функцией. Ниже представлен вывод уравнения новокейнсианской кривой Филлипса (НКРС) для отечественных товаров (см. также [12, с.143-168]).

Оптимальная цена  $P_{H,t}^*$  на несовершенных рынках определяется по правилу  $P_{H,t}^* = (\varepsilon/(\varepsilon-1))MC_t$ , где  $\varepsilon$  – параметр чувствительности спроса к цене, а  $MC_t$  – предельные издержки. В логарифмах  $p_{H,t}^* = \mu + mc_t$ , где  $\mu = \varepsilon/(\varepsilon-1)$  – наценка к издержкам. Далее через малые буквы  $p$  мы будем обозначать логарифм цен, например,  $p_{H,t}^* \equiv \ln(P_{H,t}^*)$ .

Каждая фирма, которая имеет возможность установить цену, выбирает не цену  $p_{H,t}^*$ , оптимальную в данный момент времени, но некоторую долгосрочную цену  $\bar{p}_{H,t}$ , которая будет минимизировать дисконтированную (с учётом вероятности неизменности цен  $\omega$ ) ожидаемую величину потерь:

$$S(\bar{p}_{H,t}) = \sum_{s=0}^{\infty} (\beta\omega)^s E \left[ (\bar{p}_{H,t} - p_{H,t+s}^*)^2 \right] \rightarrow \min. \quad (12)$$

Минимизация функции потерь (12) даёт выражение для установления оптимальной цены  $\bar{p}_{H,t} \sum_{s=0}^{\infty} (\beta\omega)^s = \sum_{s=0}^{\infty} (\beta\omega)^s E \left[ p_{H,t+s}^* \right]$ . Отсюда получаем:

$$\bar{p}_{H,t} = (1 - \beta\omega) \sum_{s=0}^{\infty} (\beta\omega)^s E [\mu + mc_{t+s}]. \quad (13)$$

Выражение (13) есть решение уравнения  $\bar{p}_{H,t} = (1 - \beta\omega)(\mu + mc_t) + \beta\omega E [\bar{p}_{H,t+1}]$  при  $|\beta\omega| < 1$ .

В итоге уровень цен на отечественные товары определяется как сред-

невзвешенное гибких и неизменных цен  $p_{H,t} = \omega p_{H,t-1} + (1 - \omega) \bar{p}_{H,t}$ . С учетом этого получаем выражение для цен

$$\frac{p_{H,t} - \omega p_{H,t-1}}{(1 - \omega)} = (1 - \beta\omega)(\mu + mc_t) + \beta\omega E \left[ \frac{p_{H,t+1} - \omega p_{H,t}}{(1 - \omega)} \right].$$

Или в терминах инфляции отечественных товаров:

$$\pi_{H,t} \equiv p_{H,t} - p_{H,t-1} = \kappa \cdot mcr_t + \beta E [\pi_{H,t+1}], \quad (14)$$

где  $mcr_t = \mu + mc_t - p_{H,t}$  – реальные предельные издержки с надбавкой  $\mu$ , а  $\kappa = (1 - \omega)(1 - \beta\omega) / \omega$  – параметр, отражающий негибкость цен.

Далее будет использоваться гибридный вид этой функции, предложенный Гали и Гертлером [14], показавших на основе эконометрических исследований, что существует доля фирм, устанавливающих цены на уровне предыдущего периода:

$$\pi_{H,t} = \kappa \cdot \widetilde{mcr}_t + \beta E [\pi_{H,t+1}] + \rho_\pi \pi_{H,t-1}. \quad (15)$$

Наконец, производство будет описываться функцией Кобба-Дугласа без капитала:

$$Y = AL^\alpha, \quad (16)$$

где  $Y$  – объём внутреннего производства,  $L$  – количество занятых,  $A$  – совокупная факторная производительность, а  $\alpha \in (0;1)$  – эластичность выпуска по труду.

В условиях несовершенной конкуренции на рынке труда ставка заработной платы не фиксирована для фирм. Тогда, приняв во внимание эластичность заработной платы по труду  $\varepsilon_L^W = \frac{\partial W}{\partial L} \frac{L}{W}$  и производственную

функцию (16), получаем предельные издержки  $MC_t = \frac{W_t(1 + \varepsilon_L^W)}{\alpha Y_t / L_t}$ . А реаль-

ные предельные издержки –

$$MCR_t = \frac{W_t (1 + \varepsilon_L^W)}{P_t \alpha Y_t / L_t}. \quad (17)$$

Производственная функция (16) задаёт валовой внутренний продукт (ВВП) со стороны предложения. Со стороны спроса ВВП определяется че-

рез «основное макроэкономическое тождество» как совокупный спрос со стороны разных секторов экономики:

$$Y_t \equiv AC_t + C_t + NE_t = AC_t + C_{H,t} + E_t, \quad (18)$$

где  $AC_t$  – автономное потребление, состоящее из государственных расходов и инвестиций;  $NE_t \equiv E_t - C_{F,t}$  – чистый экспорт;  $E_t$  – объём экспорта.

«Каноническим» подходом к моделированию экспорта в рамках DSGE-подхода является «международное распределение рисков» [13]. Этот подход предполагает совершенство фондовых рынков, наличие множества финансовых, в том числе страховых, инструментов и свободный доступ к ним. Нам кажется такое предположение слишком сильным и неприменимым, по крайней мере, к России. Для моделирования экспорта мы применим подход, описанный выше для моделирования импорта (11). Тогда внешний спрос может быть задан как

$$E_t = \gamma \left( \frac{P_{H,t}}{S_t P_{E,t}} \right)^{-\vartheta} Y_{W,t}, \quad (19)$$

где  $Y_{W,t}$  – мировой ВВП;  $P_{E,t}$  – уровень мировых цен на продукцию отечественного экспорта в единицах иностранной валюты;  $\vartheta$  – эластичность экспорта по ценам.

## 5. Финансовые рынки

Внутренние цены на импортные товары  $P_{F,t}$  устанавливаются на основе мировых цен  $P_{W,t}$  как  $P_{F,t} = S_t P_{W,t}$ . Однако в условиях тарифных и нетарифных ограничений, издержек на доставку товаров закон единой цены в краткосрочном периоде может нарушаться. Будем использовать его динамический вариант:

$$\pi_{F,t} = \Delta s_t + \pi_{W,t}, \quad (20)$$

где  $\pi_{F,t}$  – «импортируемая» инфляция;  $\pi_{W,t}$  – мировая инфляция.

Центральные банки в условиях инфляционного таргетирования придерживаются так называемого правила Тейлора [15]. Поскольку ставка процента не может изменяться слишком часто и резко в ответ на изменения экономической конъюнктуры, Центральные банки в режиме свободного плавления валютного курса используют правило [16]:

$$R_t = (1 - \rho_R) \left( r^n + \pi_t + q_\pi (\pi_t - \pi^T) + q_Y \tilde{Y}_t \right) + \rho_R R_{t-1}, \quad (21)$$

где  $\tilde{Y}_t$  – разрыв выпуска, процентное отклонение ВВП от своего равновесного состояния;  $\pi^T$  – целевой уровень инфляции.

## 6. Итоговая система

Как было отмечено в начале статьи, расчеты по разработанной DSGE-модели будем проводить, используя отклонения переменных от их равновесных значений. Для этого выпишем итоговую систему уравнений в терминах переменных–отклонений (1).

Совокупный спрос:

$$\tilde{Y}_t = w_{CH} \tilde{C}_{H,t} + w_E \tilde{E}_t + e_{Y,t}, \quad (22)$$

где  $w_{CH}$ ,  $w_E$  – доли потребления домашними хозяйствами отечественных товаров и экспорта в ВВП;  $e_{Y,t}$  – внешние отклонения (экзогенный шок) автономного потребления (государственных расходов и/или инвестиций).

Совокупное предложение:

$$\tilde{Y}_t = \tilde{A}_t + \alpha \tilde{L}_t. \quad (23)$$

В уравнение для потребления добавляется фактор инерционности  $\rho_C$ :

$$\tilde{C}_t = \rho_C \tilde{C}_{t-1} + (1 - \rho_C) E[\tilde{C}_{t+1}] + \frac{1}{\sigma} (E[\pi_{t+1}] - R_t - \rho) + e_{C,t}, \quad (24)$$

где  $\rho = \ln \beta$ .

Внешний спрос (экспорт):

$$\tilde{E}_t = \vartheta (p_{E,t} + s_t - p_{H,t}) + \tilde{Y}_{W,t}. \quad (25)$$

Внутреннее потребление отечественных товаров:

$$\widetilde{C}_{H,t} = \theta (p_t - p_{H,t}) + \tilde{C}_t. \quad (26)$$

Импорт:

$$\widetilde{C}_{F,t} = \theta (p_t - p_{F,t}) + \tilde{C}_t. \quad (27)$$

Функция спроса на деньги:

$$\tilde{m}_t = \frac{1}{\psi} + \frac{\sigma}{\psi} \tilde{C}_t - \eta R_t. \quad (28)$$

Предложение труда:

$$\tilde{L}_t = \frac{1}{\varphi} (\tilde{w}_t - \sigma \tilde{C}_t). \quad (29)$$

Реальные предельные издержки:

$$\widetilde{mcr}_t = \tilde{w}_t - \tilde{Y}_t + \tilde{L}_t. \quad (30)$$

Уравнение для индекса потребительских цен:

$$\pi_t = (1 - \delta) \pi_{H,t} + \delta \pi_{F,t} + e_{P,t}. \quad (31)$$

Помимо приведённых здесь, в итоговую систему включаются ещё уравнение непокрытого паритета процентных ставок с риском (7), уравнение Филлипса для инфляции отечественных товаров (14), уравнение для импортируемой инфляции (20), уравнение Тейлора (21) для номинальной процентной ставки, а также вспомогательные соотношения, связывающие цены и инфляцию:  $p_{H,t} = p_{H,t-1} + \pi_{H,t}$ ,  $p_{F,t} = p_{F,t-1} + \pi_{F,t}$  и  $p_t = p_{t-1} + \pi_t$ .

## 7. Калибровка параметров

Норма дисконтирования  $\beta$  калибруется из уравнения Эйлера (3). В стационарном равновесии  $\beta = (1 + \pi^T) / (1 + R)$ . При целевом уровне инфляции  $\pi^T = 1\%$  (т.е. 4% в год) и ставке процента  $R = 1.5\%$  (соответственно, 6%)  $\beta = 0.995$ . Тогда  $\rho = \ln \beta = -0.005$ . Соответственно, естественную ставку процента примем  $r^n = 0.5\%$ .

На основе статистических данных Росстата, доля экспорта в ВВП  $w_E$  равна 28%. По оценкам Центробанка доля импорта в потребительской корзине  $\delta$  составляет 44%. Таким образом, с учётом доли расходов домашних хозяйств (53%), доля потребления населением отечественных товаров составляет 30%.

Эластичность ВВП по труду была оценена ранее [17] на уровне 0.3, параметр  $\sigma$  – на уровне 1.25,  $\kappa$  – на уровне 1. Значения параметров монетарной политики принимаются  $q_\pi = 2.5$  и  $q_y = 0.5/4$ , что отражает акцент центрального банка на борьбу с инфляцией. Инерционность ключевой ставки Центрального банка  $\rho_R$  считается на уровне 0.75 [16].

Эластичность предложения труда обычно принимает значения от 1 до 3 [18]. С учётом инерционности и крайне низкой мобильности российского рынка труда предлагается принять параметр  $\varphi$  на уровне 3. Оценка эла-

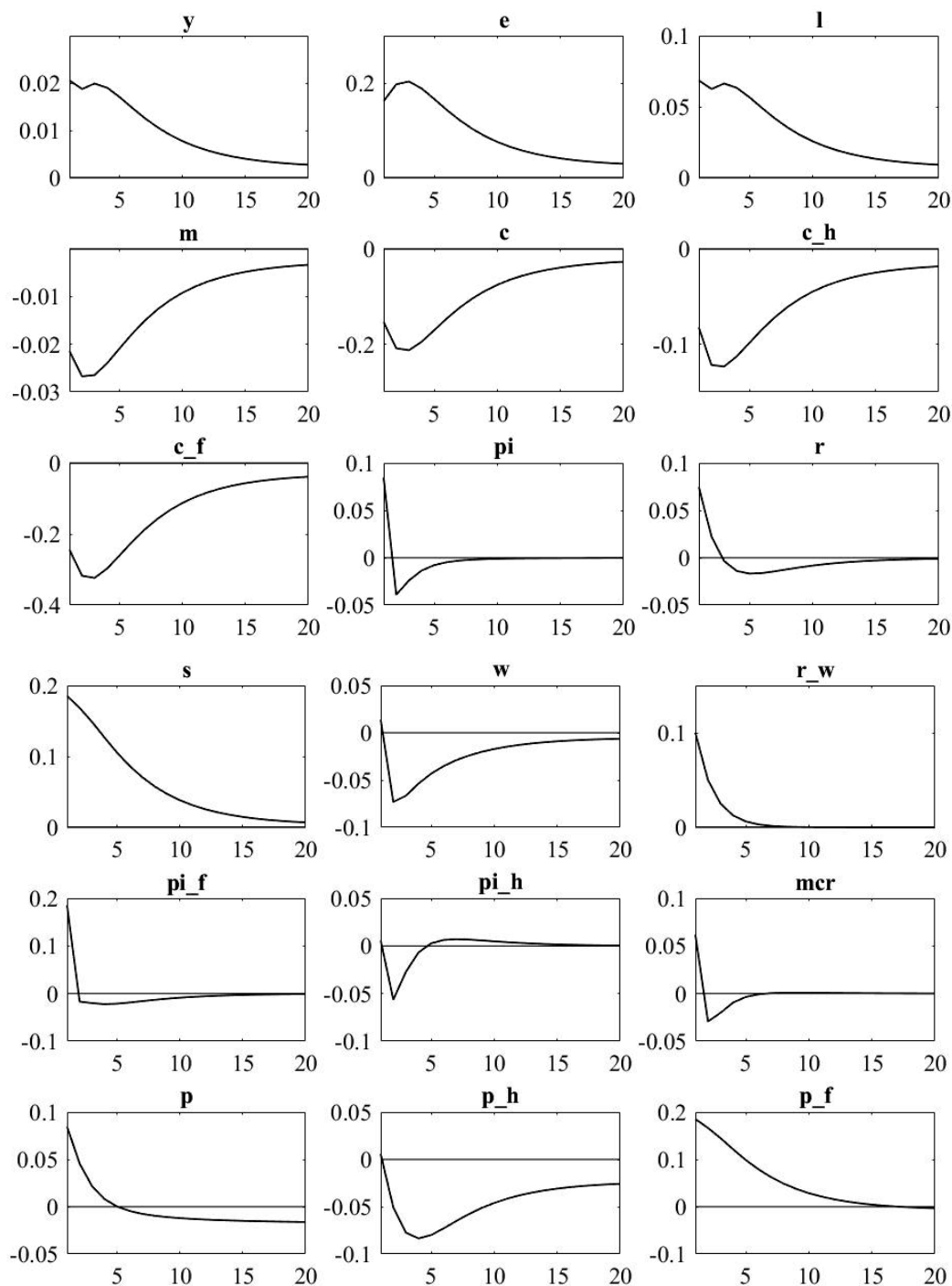
стичности спроса на деньги по национальному доходу равна 2.5, а по ставке процента – 0.03 [19, с.26]. Соответственно, параметр  $\psi$  задается величиной 10. Кроме того, основываясь на [20], эластичность спроса по ценам ( $\vartheta$  и  $\theta$ ) принимается на уровне 0.9, а инерционность потребления  $\rho_C=0.7$  [21, с.24]. Полный перечень параметров модели и их значения приведены в табл.1.

Таблица 1. Значения параметров модели.

Параметр	Экономический смысл	Значение
$w_{CH}$	Доля потребления домохозяйствами отечественных товаров в ВВП	30%
$w_E$	Доля экспорта в ВВП	28%
$\alpha$	Эластичность ВВП по труду	0.3
$\sigma$	Величина, обратная межвременному замещению потребления	1.25
$\rho$	Норма дисконтирования	-0.005
$\rho_C$	Инерционность потребления	0.7
$\vartheta$	Эластичность внешнего спроса по ценам	0.9
$\theta$	Эластичность внутреннего спроса по ценам	0.9
$\Psi$	Эластичность полезности по денежному запасу	10
$\eta$	Эластичность спроса на деньги по ставке процента	0.03
$\varphi$	Величина, обратная эластичности предложения труда по заработной плате	3
$\kappa$	Мера инерционности цен	1
$\rho_\pi$	Мера инерционности инфляции	0.005
$r^n$	Естественная ставка процента	0.5%
$\pi^T$	Цель по инфляции	1%
$q_\pi$	Мера приверженности Центробанка борьбе с инфляцией	2.5
$q_y$	Мера приверженности Центробанка задаче стабилизации выпуска	0.5/4
$\rho_R$	Мера инерционности ключевой ставки Центробанка	0.75
$\delta$	Доля импортных товаров в потребительской корзине	44%

## 8. Сценарные расчёты

С помощью разработанной модели проведено исследование влияния колебаний параметров спроса, совокупной факторной производительности, мировой ставки процента на макроэкономические показатели. Один сценарный расчёт в пакете Dynare 4.5.6 для Matlab 2017 на компьютере с процессором Core i7 2 Ghz занимает 11 сек. Шоковые воздействия, начиная с первого расчётного периода, заданы с помощью модели авторегрессии первого порядка с коэффициентом 0.5.



**Рис.1.** Реакция моделируемых переменных на шок внешней ставки процента. По оси ординат – процентные отклонения моделируемых переменных от равновесия; по оси абсцисс – время.

В качестве иллюстрации приведём результаты, касающиеся повышения мировой процентной ставки (рис.1). Этот сценарий представляется наиболее интересным в связи с прогнозами аналитиков, ожидающих повышения процентной ставки в США (график  $r_w$  на рис.1). На графиках за исходное значение принято полученное в результате шокового воздействия отклонение рассчитываемой величины.

Из представленных графиков можно видеть, что в краткосрочном периоде происходит девальвация национальной валюты (график  $s$ ). Результатом обесценения рубля являются скачок инфляции цен на импортные товары (график  $\pi_f$ ), а также рост экспорта (график  $e$ ) вследствие повышения конкурентоспособности отечественных товаров за рубежом.

Инфляция (график  $\pi$ ) вначале возрастает вследствие удорожания импортных товаров, а затем несколько снижается по причине снижения цен на отечественные товары (график  $\pi_h$ ) и повышения ставки процента Центральным банком (график  $r$ ).

Усиление инфляции приводит к снижению реальной заработной платы (график  $w$ ). А вместе с повышением ставки процента это вызывает снижение потребления домашних хозяйств (график  $c$ ), в том числе отечественных (график  $c_h$ ) и импортных товаров (график  $c_f$ ). Импорт снижается сильнее ещё и по причине его удорожания (график  $p_f$ ).

Таким образом, на ВВП страны (график  $y$ ) положительное влияние оказывает экспорт, а отрицательное – импорт. Итоговое изменение оказывается положительным, но небольшим. С течением времени наблюдается стремление системы к равновесному состоянию. Поскольку предлагаемая модель ориентирована на анализ динамики быстроменяющихся переменных, то есть в краткосрочном периоде, когда национальный доход ограничен запасом капитала и уровнем научно-технологического развития, любые шоки, не связанные с факторами долгосрочного роста, влияют только на перераспределение между компонентами ВВП.

Вследствие роста ВВП также незначительно возрастает занятость (график  $l$ ). Запас наличности за вычетом инфляции (график  $m$ ) снижается по причине роста ставки процента как альтернативной стоимости хранения денег.

## 9. Заключение

Преимуществом DSGE-подхода к моделированию отечественной экономики является учёт «провалов рынка», динамическое понимание равновесия, меньшая чувствительность к качеству и количеству статистических наблюдений по сравнению с эконометрическим моделированием. В представленной модели мы попытались учесть также такие факторы, как страновой риск, неполнота финансовых рынков, экспортоориентированный характер отечественной экономики, негибкость российского рынка труда, проводимую политику инфляционного таргетирования.

В качестве направлений дальнейшего совершенствования модели с целью уточнения полученных результатов видятся следующие:

- включение в модель факторов долгосрочного экономического роста и инвестиций в основной капитал;
- оценка параметров модели на основе статистических данных и с помощью байесовских методов;
- декомпозиция блока реального сектора на добывающие и обрабатывающие отрасли;
- моделирование формирования инфляционных и дефляционных ожиданий не на основе теории рациональных ожиданий, а на основе поведенческой экономики;
- оценка эффектов от бюджетно-налоговой политики.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. М. Турунцева. Прогнозирование в России: обзор основных моделей // Экономическая политика, 2011, №1, с.193-202;  
*M. Turuntseva. Prognozirovanie v Rossii: obzor osnovnykh modelei // Ekonomicheskaja politika, 2011, N1, s.193-202.*
2. И.Г. Поспелов и др. Новые принципы и методы макроэкономического моделирования и модель современной экономики России // ВЦ РАН. – М.: 2006;  
*I.G. Pospelov, I.I. Pospelova, M.A. Khokhlov, G.E. Shipulina. New Principles and Methods of Development of Macro Models of the Economy and a Model of Modern Russian Economy. – М.: VTs RAN, 2006.*
3. М.Ю. Андреев, И.Г. Поспелов. Капитал в стохастической динамической модели экономического равновесия // Математическое моделирование, 2007, т.19, №9, с.49–53;  
*M.Iu. Andreev, I.G. Pospelov. Kapital v stokhasticheskoi dinamicheskoi modeli ekonomicheskogo ravnovesiia // Matematicheskoe modelirovanie, 2007, t.19, №9, s.49–53.*
4. New Keynesian Macroeconomics, Vol. 1: Imperfect Competition and Sticky Prices / ed. by G. Mankiw, P.Romer. – The MIT Press, 1991, p.444.
5. Rational Expectations and Econometric Practice / ed. by Lucas R., Sargent T. – The University of Minnesota Press, 1984, p.689.
6. D. DeJong, C. Dave. Structural Macroeconometrics. 2nd edition. Princeton: Princeton University Press, 2011, 418 p.
7. А. Мукушева. Оценивание динамических стохастических моделей общего равновесия // Квантиль, 2014, №12, с.1–22;  
*A. Mikusheva. Otsenivanie dinamicheskikh stochasticeskikh modelei obshchego ravnovesia // Qauntile, 2014, N12/ s.1-22.*
8. С. Четверяков, Г. Карасев. Структурные модели обменных курсов. – М.: ИЭПП, 2005, 125 с.;  
*S. Chetveriakov, G. Karasev. Strukturnye modeli obmenykh kursov. – М.: IEPP, 2005, 125s.*
9. Heijdra Ben J., Van Der Ploeg F. The Foundations of Modern Macroeconomics. – Oxford: University Press, 2002, p.751.
10. G. Calvo. Staggered Contracts in a Utility-Maximizing Framework // Journal of Monetary Economics, 1983, №12, p.383-398;

11. *J. Rotemberg*. Sticky Prices in the United States // *The Journal of Political Economy*, 1982 v.90, №6, p.1187-1211.
12. *B. Heer, A. Maussner*. *Dynamic General Equilibrium Modelling, Computational Methods and Applications (Second Edition)*. – Berlin: Springer, 2008, 704 p.;
13. *J. Gali, T. Monacelli*. Monetary Policy and Exchange Rate Volatility in a Small Open Economy // *Review of Economic Studies*, 2005, №72, p.707–734.
14. *J. Gali, M. Gertler*. Inflation dynamics: A structural econometric analysis // *Journal of Monetary Economics*, 1999, v.44, p.195-222;
15. *J. Taylor*. Discretion versus policy rules in practice. [Электронный ресурс]. URL: <http://web.stanford.edu/~johntayl/Papers/Discretion.PDF> (дата обращения: 01.04.2018).
16. *Д.О. Чернявский, Н.С. Муканов*. Внедрение правила денежно-кредитной политики в квартальную прогностическую модель Казахстана // *Деньги и кредит*, 2017, №5, с.40–46;  
*D.O. Cherniavski, N.S. Mukhanov*. Vnedrenie pravila denezhnoi politiki v kvartalnuu prognosticheskuiu model Kazakhstana // *Dengi i kredit*, 2017, №5, s.40-46.
17. *Д.Н. Шульц, И.А. Ощепков*. Некоторые аспекты построения и использования динамических стохастических моделей общего равновесия (DSGE) // *Вестник Пермского университета. Сер. «Экономика»*. – Perm: University Herald. Economy, 2016, № 4. doi 10.17072/1994-9960-2016-4-49-65;  
*D.N. Shulsts, I.A. Oshchepkov*. Nekotorye aspekty postroenia i ispolzovania dinamicheskikh stohasticheskikh modelei obshchego ravnovesia (DSGE) // *Vestnik Permckogo univertsiteta. Ser. «Ekonomika»*, 2016, №4.
18. *А. Зарецкий*. Поиск оптимального варианта монетарной политики в Беларуси: результаты простой DSGE-модели. URL: <http://www.research.by/webroot/delivery/files/wp2012r06.pdf> (дата обращения: 03.02.2016);  
*A. Zaretski*. Poisk optimalnogo varianta monetarnoi politiki v Belarusi: rezultaty prostoi DSGE-modeli. <http://www.research.by/webroot/delivery/files/wp2012r06.pdf>.
19. *А. Божечкова и др.* Построение моделей денежного и валютного рынков. – М.: Изд-во Ин-та Гайдара, 2018, 96 с.;  
*A. Vozhechkova i dr.* Postroenie modelei denezhnogo i valutnogo rynkov. – M.: Izd-vo In-ta Gaidara, 2018, 96 s.
20. *А.Ю. Кнобель*. Оценка функции спроса на импорт в России // *Прикладная эконометрика*, 2011, №4, с.3-26;  
*A.Iu. Knobel*. Otsenka funktsii sprosa na import v Rossii // *Prikladnaia ekonometrika*, 2011, №4, s.3-26.
21. *Р.М. Мельников*. Влияние динамики цен на нефть на макроэкономические показатели российской экономики // *Прикладная эконометрика*, 2010, №1, с.20-29;  
*R.M. Melnikov*. Vliianie dinamiki tsen na neft na makroekonomicheskie pokazateli rossiiskoi ekonomiki // *Prikladnaia ekonometrika*, 2010, №1, s.20-29.

Поступила в редакцию 16.05.2019

После доработки 16.05.2019

Принята к публикации 01.07.2019