

Научная статья

УДК 338.2

JEL E32, E37, E52, E70, Q34

DOI 10.25205/2542-0429-2022-22-3-66-87

Малая DSGE-модель экономики России с неоднородным адаптивным обучением

Дмитрий Васильевич Колужнов¹
Маргарита Валерьевна Ляхнова²

^{1, 2}Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН
Новосибирск, Россия

¹Новосибирский государственный университет
Новосибирск, Россия

¹dima.kolyuzhnov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4390-7289>

²rita_2000@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1057-1387>

Аннотация

В рамках данного исследования разрабатывается малая DSGE-модель российской экономики с неоднородным адаптивным обучением экономических агентов. Сравнивая через проведение различных оценок, построение ретроспективных прогнозов, расчет показателей ошибок разные модификации модели, делается вывод, что модель с неоднородным адаптивным обучением агентов соответствует данным лучше, чем модель с рациональными ожиданиями или однородным адаптивным обучением. Также в рамках построенной модели определяется наилучшее правило монетарной политики; согласно ему, Центральному банку следует учитывать не только инфляцию и выпуск, но и реагировать на обменный курс и внутреннюю цену на нефть. Построенная в данной работе модель потенциально может быть применима в качестве достаточно компактного инструмента для анализа и прогнозов динамики экономики России, а полученные в результате выводы об оптимальной политике могут быть использованы при формировании экономической политики государства.

Ключевые слова

DSGE моделирование, неоднородное адаптивное обучение, нефтегазовый сектор, российская экономика, монетарная политика, прогнозы.

Источник финансирования

Работа выполнена по плану НИР ИЭОПП СО РАН, проект «Методы и модели обоснования стратегии развития экономики России в условиях меняющейся макроэкономической реальности», № 0260-2021-0008.

Для цитирования

Колужнов Д. В., Ляхнова М. В. Малая DSGE-модель экономики России с неоднородным адаптивным обучением // Мир экономики и управления. 2022. Т. 22, № 3. С. 66–87. DOI 10.25205/2542-0429-2022-22-3-66-87

© Колужнов Д. В., Ляхнова М. В., 2022

Small DSGE Model of the Russian Economy with Heterogeneous Adaptive Learning

Dmitry V. Kolyuzhnov¹, Margarita V. Lyahnova²

^{1,2}Institute of Economics and Industrial Engineering SB RAS
Novosibirsk, Russian Federation

¹Novosibirsk State University,
Novosibirsk, Russian Federation

¹dima.kolyuzhnov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4390-7289>

²rita_2000@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1057-1387>

Abstract

Within the framework of this study, a small DSGE model of the Russian economy with heterogeneous adaptive learning of economic agents is being developed. Comparing several modifications of the model through various assessments, building retrospective forecasts, calculating error measures, it is concluded that a model with heterogeneous adaptive learning of agents fits the data better than a model with rational expectations or homogeneous adaptive learning. Also, within the framework of the constructed model, the best rule of monetary policy is determined; according to it, the Central Bank should take into account not only inflation and output, but also respond to the exchange rate and the domestic oil price. The model constructed in this paper can potentially be used as a not very cumbersome tool for analyzing and forecasting the dynamics of the Russian economy, and the resulting conclusions about the optimal policy can be used to form the economic policy of the state.

Keyword

DSGE modeling, heterogeneous adaptive learning, oil and gas sector, Russian economy, monetary policy, forecasts.

Funding

The publication is prepared within the project “Methods and models of Russian economy development strategy justification under changing macroeconomic reality”, № 0260-2021-0008 according to the research plan of the IEIE SB RAS.

For citation

Kolyuzhnov D. V., Lyahnova M. V. Small DSGE Model of the Russian Economy with Heterogeneous Adaptive Learning. *World of Economics and Management*, 2022, vol. 22, No. 3, pp. 66–87. (in Russ.) DOI 10.25205/2542-0429-2022-22-3-66-87

Введение

Последние несколько лет являются довольно сложными для России в социальном и в экономическом планах. Отрицательный эффект, вызванный мировой пандемией, вынужденным карантином и «просадкой» цен на рынке углеводородов в 2020–2021 годах, а также началом спецоперации на Украине и последовавшими за этим санкциями в 2022 г. носит долгосрочный характер. Россия будет еще долго восстанавливать экономику до прежних масштабов. Сейчас встает необходимость в выработке новых приоритетов политики по восстановлению экономики России.

Под стабилизационной политикой понимают различные государственные мероприятия, проводимые с целью смягчения экономических колебаний в краткосрочном периоде. Основные виды вмешательства правительства в рыночную экономику стран, в том числе России – это инструменты бюджетно-налоговой и денежно-кредитной политик (далее ДКП).

В результате возникают вопросы: каким образом добиться целевых показателей и какая политика при этом оптимальна? Для ответа на данные вопросы в нашем исследовании используется динамическая стохастическая модель общего экономического равновесия (DSGE-модель). На сегодняшний день DSGE-модели широко применяются академическими исследователями и профессиональными экономистами, а также центральными банками многих стран мира в качестве инструментов макроэкономического прогнозирования и анализа политики. Например, для Канады была построена модель ToTEM [1], для банка Англии создана модель BEQM [2], в Норвегии – модель Немо [3]. Подобные модели были разработаны для Федеральной резервной системы США (SIGMA) [4], Европейского центрального банка (NAWM – новая региональная модель) [5], Центрального банка Швеции Риксбанка (Ramses) [6] и для других. Мировой опыт свидетельствует о больших возможностях DSGE-моделей, почти не распространенных и малоизвестных в России.

Комплексный анализ публикаций в отечественных (eLibrary) и зарубежных (ScienceDirect и Scopus) электронных библиотеках за период с 2016 по 2020 гг. по теме DSGE-моделей показал, что интерес к данным моделям продолжает существенно расти. Однако среди отечественных научно-исследовательских работ все еще наблюдается низкий уровень и незначительное изменение динамики, что, вероятнее всего, связано с недостаточным количеством российских специалистов, владеющих данным инструментарием. Доля работ, где DSGE-моделирование применяется для российской экономики, за последние пять лет составила не более 6 % от общего количества публикаций по теме DSGE-моделей. Однако интерес к данной теме все же несколько выше, чем в период с 2011 по 2015 гг.

За период с 2016 по 2020 гг. количество публикаций по теме DSGE-моделей, учитывающих адаптивное обучение агентов, увеличилось почти в три раза по сравнению с 2011–2015 годами. При этом доля таких работ от общего количества публикаций по теме DSGE-моделей составила около 6,5 %. Среди отечественных научно-исследовательских работ, опубликованных за последние 20 лет, нами было найдено всего две: [7] и [8]. Также стоит отметить, что на момент проведения данного исследования не было обнаружено ни одной публикации, где анализировалась бы DSGE-модель для России с подходом адаптивного обучения.

Решение межвременных оптимизационных задач в DSGE-моделях и, соответственно, результирующая экономическая динамика, во многом определяются тем, как экономические агенты формируют свои ожидания относительно поведения макроэкономических показателей. Для моделирования ожиданий в нашей работе используется метод адаптивного эконометрического обучения (далее – АО), являющийся хорошей альтернативой хотя и достаточно распространенному, но ограниченному методу, основанному на гипотезе о рациональных ожиданиях (далее – RE). При DSGE-моделировании обычно предполагается, что экономические агенты строят свои ожидания рационально, однако эта гипотеза является очень сильной, предполагающей знание агентами истинной модели (и ее параметров), лежащей в основе экономической динамики, распределений всех шоков, и предполагает верное представление о поведении других агентов и координацию действий. В жизни это далеко не так, человек ведет себя не рационально. Даже

экономисты, знающие об экономике больше других, не знают истинных моделей или их параметров, они вынуждены строить эконометрические модели при движении прогнозов [9]. Более того, нельзя утверждать, что все агенты строят ожидания одинаково, то есть заведомо предполагать выполнение гипотезы о репрезентативном агенте при формировании ожиданий [7; 8; 10; 11].

Актуальность темы исследования обусловлена реалиями современной российской экономики, а также важностью учета того факта, что агенты формируют свои ожидания относительно будущих событий по-разному и не рационально.

Цель исследования заключается в построении собственной DSGE-модели с учетом неоднородного АО экономических агентов для выбора оптимальной монетарной политики и для дальнейшего получения прогнозов. Сутью работы является включение неоднородного АО при формировании ожиданий в простую модель с малым числом уравнений, которая бы довольно сносно описывала реальную экономическую динамику, и показать, что это улучшает соответствие модели реальной динамике показателей. Данное исследование нацелено на перспективу и дает задел на применение подобного подхода для более сложных моделей, детальнее описывающих экономическую действительность.

Мировой опыт подтверждает большие возможности динамических стохастических моделей общего экономического равновесия, слабо распространенных в России. В нашей стране DSGE-модели только начинают использоваться для исследования макроэкономических показателей. А включение ожиданий экономических агентов при помощи неоднородного АО при построении моделей и вовсе будет использовано для России впервые. В этом и заключается ключевая научная новизна данного исследования.

Построение DSGE-модели

Основываясь на общепринятых принципах и подходах NK DSGE-моделирования, при построении нашей модели мы учли необходимые дополнения, для того чтобы она более соответствовала российской экономике в рассматриваемый период. Модельная экономика состоит из домохозяйств, фирм, государства, остального мира и Центрального банка (далее – ЦБ).

Домашние хозяйства

Экономика населена континуумом домохозяйств на интервале $[0, 1]$, где доля μ – это доля домохозяйств с индексом S не делающих сбережений на протяжении всей жизни. Они не имеют доступа к финансовым рынкам и потребляют весь свой располагаемый доход каждый период. Другая доля $(1 - \mu)$ домохозяйств, с индексом N – это дальновидные домохозяйства, которые осуществляют займы друг у друга, занимают за рубежом, инвестируют в физический капитал нефтегазовых компаний и не нефтяных фирм¹, а также получают прибыль от не нефтяных фирм и часть прибыли от нефтегазовых. Рынок труда конкурентный, заработная плата одинакова для всех домохозяйств. Домохозяйства определяют оптимальное коли-

¹ Не нефтяные фирмы – это фирмы, не относящиеся к нефтегазовому сектору.

чество потребления конечных товаров и услуг, сбережений, а также количество рабочих часов.

Каждый тип домохозяйств $i \in \{S, N\}$ агрегирует свое потребление при помощи следующего CES-индекса (он в свою очередь входит в функцию полезности потребителя) по отечественным (H) и иностранным (F) товарам с $\eta > 0$ – постоянной эластичностью замещения между такими товарами:

$$C_t(i) = \left(\gamma^{\frac{1}{\eta}} C_{F,t}^{\frac{\eta-1}{\eta}}(i) + (1-\gamma)^{\frac{1}{\eta}} C_{H,t}^{\frac{\eta-1}{\eta}}(i) \right)^{\frac{\eta}{\eta-1}}, \quad (1)$$

где γ – степень открытости, а $(1-\gamma)$ – параметр «домашнего» смещения.

Расходы домохозяйства распределяются между двумя типами товаров, отечественными и импортными. Для домохозяйства любого типа $i \in \{S, N\}$ задачу минимизации расходов при заданном минимальном уровне потребления можно записать как:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_t^H C_t^H + P_t^F C_t^F \rightarrow \min_{C_t^F, C_t^H} \\ \left((\gamma^{1-r^c} C_{F,t}^{r^c} + (1-\gamma)^{1-r^c} C_{H,t}^{r^c})^{\frac{1}{r^c}} \geq C_t \right) \end{array} \right., \quad (2)$$

где P_t^H – ИПЦ на отечественные товары, P_t^F – ИПЦ на импортные товары, а $r^c = \frac{\eta-1}{\eta}$.

Решение данной задачи приводит к следующим уравнениям спроса на отечественные и иностранные товары:

$$C_t^H = C_t(1-\gamma) \left(\frac{P_t^H}{P_t} \right)^{\frac{1}{r^c-1}}, \quad (3)$$

$$C_t^F = C_t \gamma \left(\frac{P_t^F}{P_t} \right)^{\frac{1}{r^c-1}}, \quad (4)$$

где

$$P_t^{\frac{r^c}{r^c-1}} = \gamma P_{F,t}^{\frac{r^c}{r^c-1}} + (1-\gamma) P_{H,t}^{\frac{r^c}{r^c-1}}, \quad (5)$$

то есть P_t , функция для индекса ИПЦ, – это комбинация индексов потребительских цен на отечественные и на импортные товары.

Дальнейшая постановка задач каждым типом домохозяйств (S и N) выглядит следующим образом. Дальновидное домохозяйство S максимизирует свою полезность (6) по потреблению, капиталу, займам и отработанным часам с учетом бюджетного ограничения (7).

$$U^S = E_0 \left(\sum_{t=0}^{\infty} \beta^t u(C_t^S, L_t^S) \right) = \quad (6)$$

$$= E_0 \left(\sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \left(\frac{(C_t^S)^\varphi}{\varphi} - \frac{(L_t^S)^{1+\sigma}}{1+\sigma} \right) \right) \rightarrow \max_{C_t^S, L_t^S},$$

где $\sigma > 0$, $\varphi < 1$, $0 < \beta < 1$.

$$\begin{aligned} P_t C_t^S + Ne_t B_{t+1}^* + B_{t+1} + K_{t+1}^{no, ном} + K_{t+1}^{o, ном} = \\ = (1 - \tau_w) W_t L_t^S + Ne_t (1 + R_{t-1}^*) B_t^* + \\ + (1 + R_{t-1}) B_t + (1 + R_{t-1}^{no}) K_t^{no, ном} + (1 + R_{t-1}^o) K_t^{o, ном} + \\ + i_{\Pi, S}^{div} \Pi_t^{oil, \tau} - T_t^S + TR_t^S + \Pi_t^{no}, \end{aligned} \quad (7)$$

где τ_w – налог на заработную плату, C_t^S – потребление домохозяйства типа S , P_t – индекс потребительских цен (ИПЦ), Ne_t – номинальный (прямой) обменный курс иностранной валюты, B_t^* – номинальная стоимость выраженных в иностранной валюте облигаций (все иностранные переменные будут обозначены *), B_t – номинальная стоимость займов в отечественной валюте, $K_t^{no, ном}$ и $K_t^{o, ном}$ – капитал в номинальном выражении, вкладываемый домохозяйствами в не нефтяные и нефтегазовые компании, соответственно, W_t – номинальная заработная плата, L_t^S – количество рабочих часов, R_t и R_t^* – номинальные валовые внутренние и иностранные процентные ставки соответственно, R_t^o и R_t^{no} – номинальная ставка для нефтегазового и не нефтяного капитала, соответственно, T_t^S – реальные единовременные налоги, $i_{\Pi, S}^{div}$ – доля прибыли нефтегазовых фирм, выплачиваемая в виде дивидендов домохозяйствам, TR_t^S – трансферты, полученные домохозяйствами от правительства, $\Pi_t^{oil, \tau}$ – прибыль нефтегазовых компаний после уплаты налога, Π_t^{no} – прибыль не нефтяных фирм.

Чтобы обеспечить существование внутреннего решения, задаются стандартным образом условия ограничения на займы внутри страны и за рубежом (NPG).

Решение оптимизационной задачи домохозяйства типа S приводит к межпериодному условию оптимальности (8), условию отсутствия арбитража (9) и внутрипериодному условию оптимальности, представляющему собой уравнение предложения труда (10):

$$\frac{1}{1 + R_t} = \beta E_t \frac{1}{\pi_t} \left(\frac{C_{t+1}^S}{C_t^S} \right)^{\varphi-1}, \quad (8)$$

где $\pi_t = \frac{P_t}{P_{t-1}}$ – инфляция.

$$R_t = (1 + R_t^*) \frac{Ne_{t+1}}{Ne_t} - 1 = R_t^{no} = R_t^o, \quad (9)$$

$$(1 - \tau_w) \frac{W_t}{P_t} = \frac{(L_t^S)^\sigma}{(C_t^S)^{\varphi-1}}. \quad (10)$$

Домохозяйство типа N максимизирует аналогичную функцию полезности (11), что и домохозяйство типа S , но выбирает только потребление и предложение труда в соответствии с бюджетным ограничением (12):

$$E_0 \left(\sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \left(\frac{(C_t^N)^\varphi}{\varphi} - \frac{(L_t^N)^{1+\sigma}}{1+\sigma} \right) \right) \rightarrow \max_{C_t^N, L_t^N}, \quad (11)$$

$$P_t C_t^N = (1 - \tau_w) W_t L_t^N - T_t^N + T R_t^N. \quad (12)$$

Ввиду отсутствия вложений и займов, у таких домохозяйств будет отсутствовать межпериодное условие оптимальности.

Совокупное потребление, в свою очередь, рассчитывается как:

$$C_t = \mu C_t^N + (1 - \mu) C_t^S \quad (13)$$

Фирмы

При построении модели, предполагается, что существует три типа фирм. Отечественный *производитель конечной продукции, не связанный с нефтью*, действует на рынке совершенной конкуренции. Он использует промежуточные товары $Y_t^{no}(j)$ в качестве факторов производства и имеет технологию с постоянной отдачей от масштаба:

$$Y_t^{no} = \left(\int_0^1 (Y_t^{no}(j))^{\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}} dj \right)^{\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}}, \quad \varepsilon > 1, \quad (14)$$

где ε – эластичность замещения между различными промежуточными товарами, используемыми в производстве.

Условие минимизации затрат с учетом цены продаваемого внутреннего конечного товара P_t^{no} и цен используемых в производстве промежуточных товаров $P_t^{no}(j)$ приводит к функции спроса на промежуточные товары типа j в период времени t :

$$Y_t^{no}(j) = Y_t^{no} \left(\frac{P_t^{no}(j)}{P_t^{MI}} \right)^{-\varepsilon}, \quad (15)$$

где P_t^{MI} – индекс цен промежуточных товаров. Совершенная конкуренция на рынке подразумевает, что $P_t^{MI} = P_t^{no}$.

У каждой *не нефтяной фирмы, производящей промежуточные товары типа j* , есть идентичная производственная функция Кобба – Дугласа, включающая не нефтяной частный капитал, рабочую силу и часть выпуска нефтегазовых фирм, не идущую на экспорт:

$$Y_t^{no}(j) = A_t^{no} \cdot (K_t^{no}(j))^{\alpha_1} \cdot (L_t(j))^{1-\alpha_1-\alpha_2} \cdot (Y_t^{oil}(1 - \Psi_{EX}))^{\alpha_2} \quad (16)$$

где A_t^{no} – уровень технологий, $K_t^{no} = \frac{K_t^{no,ном}}{P_{t-1}}$ – капитал в реальном выражении, вкладываемый домохозяйствами в не нефтяные компании, Y_t^{oil} – выпуск нефтегазовых фирм, Ψ_{EX} – доля выпуска нефтегазовых фирм, идущая на экспорт.

Производители промежуточных товаров действуют на рынке монополистической конкуренции. Их задачу можно решить в два этапа. Во-первых, минимизировать затраты ($TC = W_t L_t + K_t P_t^{k,no} + P_t^{oil} Y_t^{oil} (1 - \psi_{EX})$) с учетом производственной функции (16). Беря заработную плату и стоимость аренды капитала как заданные (эти рынки предполагаются конкурентными), можно получить общие для всех не нефтяных фирм номинальные предельные издержки следующего вида:

$$MC_t^{no} = \frac{W_t^{1-\alpha_1-\alpha_2} (P_t^{k,no})^{\alpha_1} (P_t^{oil})^{\alpha_2} (1 - \psi_{EX})^{\alpha_2}}{A^{no} \alpha_2^{\alpha_2} (1 - \alpha_1 - \alpha_2)^{1-\alpha_1-\alpha_2} \alpha_1^{\alpha_1}} \quad (17)$$

где $P_t^{k,no}$ – номинальная цена единицы не нефтяного капитала в реальном выражении, получаемая из следующего равенства:

$$1 + R_{t-1}^{no} = (1 + \pi_t) \cdot \left(1 + \frac{P_t^{k,no}}{P_t} - \delta^{no} \right), \quad (18)$$

где δ^{no} – норма выбытия не нефтяного капитала.

Во-вторых, решить задачу выбора фирмой j цены P_t^{nop} , максимизирующей их дисконтированную ожидаемую номинальную прибыль:

$$\Pi_t^{no} = \sum_{m=0}^{\infty} \theta^m E_t \left(D_{t,t+m} \cdot Y_{t,t+m}^{no}(j) (P_t^{nop}(j) - MC_{t,t+m}^{no}) \right) \rightarrow \max, \quad (19)$$

где $D_{t,t+m} = \beta^m E_t \left(\frac{U_{c,t+m}^S}{U_{c,t}^S} \right)$ – коэффициент дисконтирования, приводящий момент времени $t + m$ к моменту t , вытекающий из задачи оптимизации домохозяйства при условии ограничения спроса в соответствии с (15).

В соответствии с ценообразованием по Кальво [12] предполагается, что часть $(1 - \theta)$ не нефтяных фирм корректирует свои цены каждый период, в то время как доля θ сохраняет свои цены неизменными; то есть θ – это показатель негибкости цен. Причем фирма, меняющая цену в период t , определяет цену, исходя из максимизации ожидаемого дисконтированного потока прибыли. Таким образом, индекс внутренних цен меняется следующим образом:

$$(P_t^{no})^{1-\varepsilon} = \theta (P_{t-1}^{no})^{1-\varepsilon} + (1 - \theta) (P_t^{nop})^{1-\varepsilon}. \quad (20)$$

Условие первого порядка этого решения о ценообразовании (19) приведено ниже:

$$\sum_{m=0}^{\infty} \theta^m E_t \left(D_{t,t+m} \cdot Y_{t,t+m}^{no}(j) \left(\frac{P_t^{nop}(j)}{P_{t+m}^{no}} - \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} MC_{t,t+m}^{no} \right) \right) = 0. \quad (21)$$

Производственная функция *нефтегазовой компании* включает только капитальные затраты K_t^{oil} , предполагая, что производство нефти/газа является капи-

талосемким сектором, и чтобы избежать каких-либо осложнений, связанных с возможной мобильностью рабочей силы между двумя секторами:

$$Y_t^{oil} = A_t^{oil} (K_t^{oil})^{\alpha_0} \quad (22)$$

где A_t^{oil} – технологический показатель для нефтегазовых фирм, $K_t^{oil} = \frac{K_t^{o,ном}}{P_{t-1}}$ – реальный капитал, вкладываемый домохозяйствами в нефтегазовые компании, $\alpha_0 \in (0,1)$ – эластичность выпуска по капиталу; здесь и далее верхний индекс oil будет использоваться для «нефтяных» переменных.

Нефтяной капитал накапливается за счет государственных инвестиций (I_t^G), вложений богатых домохозяйств (I_t^S) и прямых иностранных инвестиций (ПИИ)_{*t*}, закон движения для каждого из которых можно записать в соответствии с (24) – (26):

$$K_t^{oil} = (1 - \delta^{oil}) K_{t-1}^{oil} + \text{ПИИ}_t + I_t^G + I_t^S, \quad (23)$$

$$I_t^S = K_t^o - (1 - \delta^{oil}) K_{t-1}^o, \quad (24)$$

$$I_t^G = K_t^G - (1 - \delta^{oil}) K_{t-1}^G, \quad (25)$$

$$\text{ПИИ}_t = K_t^F - (1 - \delta^{oil}) K_{t-1}^F, \quad (26)$$

где δ^{oil} – норма выбытия нефтяного капитала.

Для равновесия будем предполагать, что выполняется следующее равенство:

$$K_t^{oil} = K_t^o + K_t^G + K_t^F. \quad (27)$$

Нефтегазовые компании платят подоходные налоги по ставке τ^{oil} , а также налог на добычу полезных ископаемых по ставке τ^p рублей за 1 *m*. Доля продаваемой за границу нефти составляет ψ_{EX} от всей добываемой нефти. Производители нефти стремятся максимизировать свою прибыль после уплаты налогов в национальной валюте:

$$\begin{aligned} \Pi_t^{oil,\tau} = (1 - \tau^{oil}) \Pi_t^{oil,\tau} = (1 - \tau^{oil}) (P_t^{oil} Y_t^{oil} (1 - \psi_{EX}) + \\ + P_t^{oil*} N e_t Y_t^{oil} \psi_{EX} - \tau^p Y_t^{oil} - P_t^{k,oil} K_t^{oil}), \end{aligned} \quad (28)$$

где P_t^{oil} – внутренняя цена на нефть, P_t^{oil*} – мировая цена нефти, а $P_t^{k,oil}$ – номинальная цена единицы нефтяного капитала.

Из условий первого порядка этой задачи получаем:

$$\frac{P_t^{k,oil}}{P_t^{oil} (1 - \psi_{EX}) + P_t^{oil*} N e_t \psi_{EX} - \tau^p} = \alpha_0 A_t^{oil} (K_t^{oil})^{\alpha_0 - 1}. \quad (29)$$

Нефтегазовый сектор принадлежит «богатым» домохозяйствам, правительству и за границе (они же и инвестируют в нефтегазовые компании). Дивидендная доля прибыли нефтегазовых компаний, получаемая домохозяйствами типа S , обозначается $i_{\Pi,S}^{div}$, получаемая государством – $i_{\Pi,G}^{div}$, а получаемая иностранными агентами – $i_{\Pi,F}^{div}$.

Номинальный обменный курс, как и в работе Д. Егорова [13], определяется с использованием мировых цен на нефть P_t^{o*} :

$$Ne_t = (Ne_{t-1})^{\omega_e} \left(\frac{P_t^{o*}}{P_t} \right)^{\omega_p}, \quad (30)$$

где ω_e – коэффициент сглаживания, а ω_p – эластичность обменного курса по цене на нефть.

Фискальная политика

Правительство взимает с домохозяйств единовременные налоги и налоги на заработную плату, получает налог с прибыли нефтегазовых компаний, НДС и часть прибыли нефтегазовых компаний в виде дивидендов, а также выплаты по инвестированному в нефтегазовые фирмы капиталу. При этом правительство выплачивает домохозяйствам трансферты и делает инвестиции в компании нефтегазового сектора. Тогда ограничения бюджета фискальных органов можно сформулировать так:

$$TR_t + I_t^G = \tau_W W_t L_t + T_t + T_t^{oil} + P_t^{k,oil} K_t^G, \quad (31)$$

$$T_t = (1 - \mu) T_t^S + \mu T_t^N, \quad (32)$$

$$TR_t = (1 - \mu) TR_t^S + \mu TR_t^N, \quad (33)$$

$$T_t^{oil} = \tau^{oil} P_t^{oil} + i_{\Pi,G}^{div} P_t^{oil,\tau} + \tau^p Y_t^{oil}, \quad (34)$$

$$I_t^G = K_t^G - (1 - \delta^{oil}) K_{t-1}^G. \quad (35)$$

Монетарная политика

Для того чтобы сформулировать и оценить правило монетарной политики для плавающего режима валютного курса, позволяющее компактно описать ДКП ЦБ, в данном исследовании мы используем правило Тейлора, дающее достаточно много свободы в процессе оценки из-за того, что в нем постулируется логлинейная взаимосвязь между ставкой процента, разрывом ВВП, инфляцией и другими возможными переменными. При этом мы добавляем в классическое правило Тейлора цены на нефть аналогично [14], поскольку ставка процента должна реагировать на данный показатель для снижения общественных потерь.

В настоящее время ЦБ РФ придерживается политики инфляционного таргетирования. ДКП регулятора по поддержанию желаемого уровня инфляции моделируется путем изменения номинальной процентной ставки, при этом учитывает-

ся отклонение показателя инфляции и валютного курса, выпуска отечественных товаров и цены на нефть в отечественной валюте относительно их устойчивого состояния. То есть мы предполагаем, что монетарная политика подчиняется следующему правилу Тейлора:

$$R_t = R_{t-1}^{\rho_R} \left[\left(\frac{\pi_t}{\bar{\pi}} \right)^{\varphi_\pi} \left(\frac{Ne_t}{\bar{Ne}} \right)^{\varphi_{Ne}} \left(\frac{Y_t^{no}}{\bar{Y}^{no}} \right)^{\varphi_Y} \left(\frac{P_t^{oil}}{\bar{P}^{oil}} \right)^{\varphi_{oil}} \right]^{1-\rho_R} * shock_t^R, \quad (36)$$

где ρ_R – параметр сглаживания процентной ставки; φ_π , φ_{Ne} , φ_Y , и φ_{oil} – коэффициенты, определяющие реакцию ЦБ на отклонение показателей инфляции π_t , валютного курса Ne_t , объема выпуска Y_t^{no} и внутренней цены на нефть P_t^{oil} от их устойчивых (целевых) уровней $\bar{\pi}$, $\bar{Ne}$, $\bar{Y}^{no}$, и $\bar{P}^{oil}$, соответственно.

Помимо этого, как и в работе Д. Крепцева и С. Селезнева [15], предполагается, что в экономике имеют место два тренда: нефтяной тренд (P_t^{oil*}) и технологический (A_t^{oil} и A_t^{no}), а также дополнительно вводится монетарный тренд ($shock_t^R$). Экзогенные процессы уровня технологий описываются авторегрессионными уравнениями 1-го порядка.

С учетом условий равновесия на рынках и сбалансированности государственного бюджета полученная система уравнений была логлинеаризована относительно устойчивого состояния в каждый период времени и реализована на языке программирования MatLab при помощи пакета Dynare для обработки DSGE-моделей. Все расчеты и оценки в модели проводятся с использованием макроэкономических переменных, выраженных в терминах логарифмов отклонения от устойчивого состояния.

Неоднородное адаптивное обучение экономических агентов

Поведение экономических агентов определяется набором задач межвременной оптимизации, которые содержат ожидания, оказывающие влияние на динамику эндогенных переменных. Решение этих задач зависит от того, как моделируются ожидания относительно поведения макроэкономических показателей.

Моделирование ожиданий при помощи АО предполагает, что агенты имеют лишь ограниченные знания о структуре экономики. Они обучаются, используя наблюдаемые данные, и по прошествии времени и изменении доступных данных изменяют свое правило прогнозирования. АО, как минимальный отход от RE, обеспечивает правдоподобную основу для моделирования поведения экономических агентов, которые справляются с непрерывными экономическими изменениями.

Построенную нами логлинеаризованную модель можно представить в виде многомерной линейной структурно однородной модели с двумя типами агентов (дважды подтипами домохозяйств типа S) с разными прогнозами, без лагов эндогенной переменной и с t -датировкой ожиданий, относящейся к классу моделей из работы С. Хонкапойя и К. Митра [11]:

$$y_t = \alpha + A_1 \widehat{E}_t^1 y_{t+1} + A_2 \widehat{E}_t^2 y_{t+1} + B w_t, \quad (37)$$

$$w_t = Fw_{t-1} + \varepsilon_t, \quad (38)$$

где y_t – n -размерный вектор эндогенных переменных, $w_t - (k \times 1)$ вектор экзогенных переменных, следующий стационарному VAR, так что ε_t – вектор независимых шоков белого шума; F – диагональная матрица со всеми собственными значениями внутри единичного круга, $\widehat{E}_t^i y_{t+1}$ – ожидания эндогенных переменных агентом группы i , $i = 1, 2$, A_1, A_2 и B – матрицы размерности $(n \times n)$ и $(n \times k)$ соответственно, $A_i = \zeta_i \bar{A}$, $i = 1, 2$, $\zeta_1 + \zeta_2 = 1$, ζ_i – доля агентов группы i в общей численности агентов, формирующих ожидания.

Во время динамики обучения агенты имеют различные представления об оцениваемых параметрах и эти представления корректируются с течением времени. Наиболее популярными алгоритмами обучения можно назвать рекурсивный метод наименьших квадратов (RLS) и метод стохастического градиента (SG). Основное их отличие друг от друга в том, что алгоритм RLS обновляет матрицу вторых моментов, а алгоритм SG сохраняет ее постоянной. Хонкапойя и Митра [11] выделяют следующие характеристики неоднородности в обучении:

- использование агентами разных типов алгоритмов обучения (RLS и SG);
- разные скорости реакции на новую информацию у разных агентов;
- различное начальное восприятие параметров прогнозных моделей разными агентами.

Все перечисленные выше характеристики неоднородности в обучении могут быть учтены в виде АО, когда один тип агентов (например, тип 1) использует RLS, а другой (тип 2) – SG, то есть при неоднородном смешанном RLS/SG обучении. Использование алгоритма RLS позволяет моделировать «более изощренных» агентов. Предположим, что воспринимаемые законы движения (PLM) агентов типа 1 и 2 выглядят соответственно:

$$y_t = \alpha_t^1 + b_t^1 w_t = \varphi_{1,t}^T z_t, \quad (39)$$

$$y_t = \alpha_t^2 + b_t^2 w_t = \varphi_{2,t}^T z_t, \quad (40)$$

где оценки параметров $\varphi_{C,i}^T$, $\varphi_{\pi,i}^T$ и $\varphi_{no,i}^T$ уже зависят от времени.

Векторы y_t , w_t и z_t в соответствии с нашей моделью имеют следующий вид:

$$y_t = \begin{pmatrix} \widetilde{C}_t^S \\ \widetilde{\pi}_t \\ \widetilde{\pi}_t^{no} \end{pmatrix}; w_t = (\widetilde{P}_t^{oul*} \quad \widetilde{A}_t \quad \widetilde{C}_{t-1}^S \quad \widetilde{R}_t); z_t = \begin{pmatrix} 1 \\ w_t \end{pmatrix}.$$

Соответствующие функции прогнозов строятся как:

$$\widehat{E}_t^1 y_{t+1} = \alpha_t^1 + b_t^1 F w_t, \quad (41)$$

$$\widehat{E}_t^2 y_{t+1} = \alpha_t^2 + b_t^2 F w_t. \quad (42)$$

Для агента типа 1 алгоритм имеет вид:

$$\varphi_t^1 = \varphi_{t-1}^1 + \gamma_t^1 R_t^{-1} z_{t-1} (y_{t-1} - (\varphi_{t-1}^1)^T z_{t-1})^T, \quad (43)$$

$$R_t = R_{t-1} + \gamma_t^1 R_{t-1}^{-1} z_{t-1} (z_{t-1} (z_{t-1})^T - R_{t-1}). \quad (44)$$

В то время как для агента типа 2 это выглядит так:

$$\varphi_t^2 = \varphi_{t-1}^2 + \gamma_t^2 z_{t-1} (y_{t-1} - (\varphi_{t-1}^2)^T z_{t-1})^T. \quad (45)$$

Чтобы перейти от рассчитанных каждым из двух методов значений ожидаемых переменных к значениям, образующимся непосредственно методом неоднородного АО, необходимо «взвесить» значения, полученные по алгоритму RLS и значения, полученные по алгоритму SG с помощью долей ζ_1, ζ_2 . Поскольку метод RLS вычислительно сложнее, чем SG, можно разделить всех агентов на два типа по факту наличия у них высшего образования. Тогда «вес» значений, полученных методом RLS, будет составлять 0,36 (поскольку в России около 36 %² индивидов имеет высшее образование), а значений, полученных методом SG, соответственно, 64 %.

Оценка DSGE-модели, численные результаты

Для оценки параметров модели в исследовании использовались поквартальные временные ряды макроэкономических показателей для РФ в период с 1 квартала 2000 г. по 4 квартал 2020 г. При сборе поквартальных статистических данных по макроэкономическим показателям использовались такие официальные источники, как Федеральная служба государственной статистики, Банк России, World Bank Global Economic Monitor, Finam, OECD, журнал «ТЭК России», Федеральная налоговая служба РФ, Министерство финансов РФ и другие. Априорные (экспертные) значения для параметров, оцениваемых байесовским методом, были взяты из научно-исследовательских работ Д. Крепцева и С. Селезнева [15], С. Иващенко [16], А. Алгожиной [17], Д. Егорова [13], А. Ferrero и М. Seneca [18] и др.

Полученные после применения метода Байеса апостериорные средние значения для параметров оказались достаточно близкими к своим априорным оценкам. Для модели с неоднородным АО значение функции правдоподобия оказалось несколько выше, чем для модели с RE, а также 90 % доверительные интервалы всех параметров оказались уже, чем при подходе RE, что может говорить о том, что оценки параметров, полученные по модели с неоднородным АО, лучше в рамках предоставленной статистики и данная модель качественнее приближает параметры по реальной статистике.

Определение оптимальной монетарной политики

Одной из целей данной работы было получение рекомендаций относительно оптимальной монетарной политики. В работе мы определяем оптимальные инструменты ДКП для России в период с 2015 по 2020 г. Один из основных подходов

² Рассчитано авторами на основе базы данных RLMS – HSE, обращалось внимание на сведения о наличии у индивида высшего образования (включая ученые степени и аспирантуру).

к оптимизации правил такой политики состоит в максимизации функции общественного благосостояния всех типов домохозяйств в модели, то есть функции полезности. При сравнении различных вариантов монетарных правил оптимальные коэффициенты окажутся у правила с наибольшим значением этой функции. Сравнительный анализ проводился с различными вариациями правила Тейлора:

$$\widetilde{R}_t = \rho_{R,j} \widetilde{R}_{t-1} + (1 - \rho_{R,j}) (\varphi_{\pi,j} \widetilde{\pi}_t + \varphi_{Ne,j} \widetilde{Ne}_t + \varphi_{y,j} \widetilde{Y}_t^{no} + \varphi_{oil,j} \widetilde{P}_t^{oil}), (46)$$

где ρ_R – параметр сглаживания процентной ставки; $\varphi_{\pi,j}$, $\varphi_{Ne,j}$, $\varphi_{y,j}$ и $\varphi_{oil,j}$ – коэффициенты чувствительности, определяющие реакцию ЦБ на отклонение показателей инфляции, валютного курса, объема выпуска и внутренней цены на нефть от их устойчивых уровней, индекс j в данном уравнении указывает на конкретную вариацию правила.

В большинстве исследовательских работ, где строятся DSGE-модели, механизм ДКП не прописывается в деталях и предполагается, что основным инструментом этой политики является номинальная процентная ставка. В построенной модели ЦБ через изменение такой ставки может контролировать отклонение показателей инфляции, обменного курса, выпуска не нефтяных фирм и внутренней цены на нефть от их устойчивых состояний.

В табл. 1 мы сравнили сравнили восемь основных модификаций правила Тейлора, предполагая, что отклонения показателей инфляции и выпуска контролируются в любом случае.

Таблица 1

Анализ различных вариаций правила Тейлора

Table 1

Analysis of Various Variations of the Taylor Rule

№	ρ_R	$\varphi_{\pi,j}$	$\varphi_{y,j}$	$\varphi_{oil,j}$	$\varphi_{Ne,j}$	R^2	Значение функции благосостояния
1	0,8728	1,9151	0,6036	1,2109	0,8028	0,751	-1145,15
2	0,8816	2,4661	0,8450	-	0,3879	0,749	-1152,83
3	0,8511	1,4295	1,9336	0,4444	-	0,749	-1145,34
4	0,8624	1,4279	1,5844	-	-	0,748	-1147,31
5	-	1,5838	0,1466	0,3055	0,3801	0,279	-1147,27
6	-	1,8694	0,5706	-	0,4725	0,264	-1160,14
7	-	2,1885	0,5315	0,6193	-	0,215	-1149,17
8	-	1,3527	1,1690	-	-	0,132	-1157,06

Из данных табл. 1 следует, что во всех вариантах предполагается согласующийся с большинством исследовательских работ есть достаточно сильный отклик на колебания инфляции (коэффициенты от 1,4 до 2,5). Также в вариациях правила Тейлора, включающих обменный курс и внутреннюю цену на нефть, предполагаются умеренный отклик на колебания этих двух показателей. Правила, учитывающие отклонения нефтяных цен, оказываются лучше правил, которые их не учитывают.

Исходя из коэффициента детерминации и значений функции общественного благосостояния, наилучшим правилом оказалось правило № 1, когда ЦБ учитывает сглаживание процентной ставки, а также реагирует на все четыре предложенных показателя. Поэтому дальше во всех используемых моделях в правиле Тейлора будут использоваться параметры, соответствующие варианту № 1.

Построение ретроспективных прогнозов

Для оценки способности различных модификаций модели прогнозировать временные ряды, нами были построены ретроспективные прогнозы для ключевых переменных. В качестве временного интервала для тестирования был взят период с первого квартала 2015 г. по четвертый квартал 2020 г.

Сперва мы сравниваем соответствие значений нескольких используемых в модели вперед смотрящих (ожидаемых) переменных – инфляции и потребления сберегателей реальной экономической динамике для разных модификаций модели (с точки зрения модели формирования ожиданий). Глядя на графики (рис. 1), отражающие значения этих показателей, полученных по модели с RE и модели с неоднородным АО, можно предположить, что ожидаемые переменные, полученные через подход неоднородного АО, оказываются ближе к динамике фактических данных, нежели полученные по модели с RE.

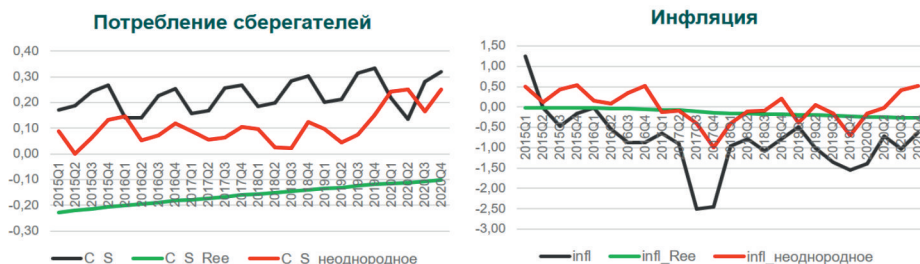


Рис. 1. Значения вперед смотрящих переменных, полученные по модели с RE и модели с неоднородным АО

Fig. 1. Values of forward looking variables obtained from the model with RE and the model with inhomogeneous AO

В подтверждение этого визуального результата были рассчитаны MAE и MSE для каждой модификации модели (табл. 2). Для всех показателей значения MAE и MSE для модели с неоднородным АО оказались меньше, чем для модели с RE.

Также мы сравнили, насколько рассчитанные по модели с неоднородным АО ожидания вперед смотрящих переменных ближе к фактическим значениям, чем те, которые получают в моделях с однородным АО, например, при использовании только алгоритма RLS или только SG.

Таблица 2

Оценка качества прогноза ожидаемых переменных

Table 2

Assessing the Quality of the Forecast of Expected Variables

MSE	C_S	infl	infl_no
рациональные ожидания	0,154	1,195	2,084
неоднородное адаптивное обучение	0,022	1,179	1,415
обучение по методу RLS	0,023	0,765	3,600
обучение по методу SG	0,062	3,026	2,010
MAE	C_S	infl	infl_no
рациональные ожидания	0,388	0,909	1,027
неоднородное адаптивное обучение	0,130	0,884	0,882
обучение по методу RLS	0,132	0,638	1,584
обучение по методу SG	0,228	1,615	1,225

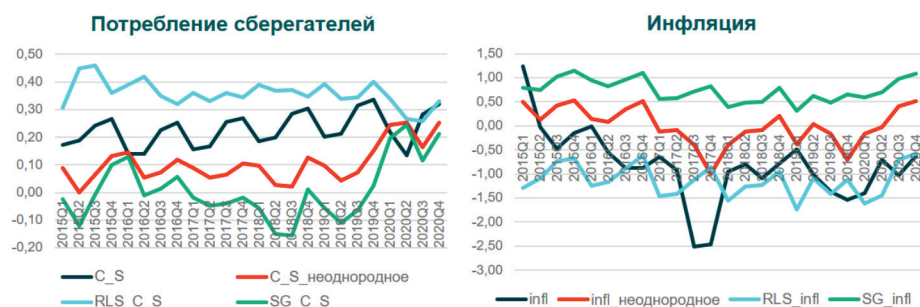


Рис. 2. Значения вперед смотрящих переменных, полученные по моделям с однородным и неоднородным АО

Fig. 2. Values of forward-looking variables obtained from models with homogeneous and inhomogeneous AO

Графики, представленные на рис. 2, свидетельствуют о том, что значения ожидаемых переменных, получаемые в модели с неоднородным АО, лежат на графике между линиями значений для ожиданий при однородном обучении. Можно предположить из визуальной оценки, что ожидания, полученные при неоднородном АО, вероятнее всего, ближе к реальной динамике. Данное предположение отчасти подтверждается расчетами, представленными в табл. 2, для потребления и инфляции внутренних цен модель с неоднородным АО действительно оказывается лучшей, а вот для показателя инфляции модель с однородным RLS обучением уже несколько лучше. В целом, ожидания, получаемые по модели с неоднородным АО, оказываются ближе к наблюдаемым в реальности данным.

На следующем этапе мы построили ретроспективные прогнозы для ключевых переменных – инфляции, выпуска не нефтяных фирм, потребления, процентной ставки и обменного курса (рис. 3).

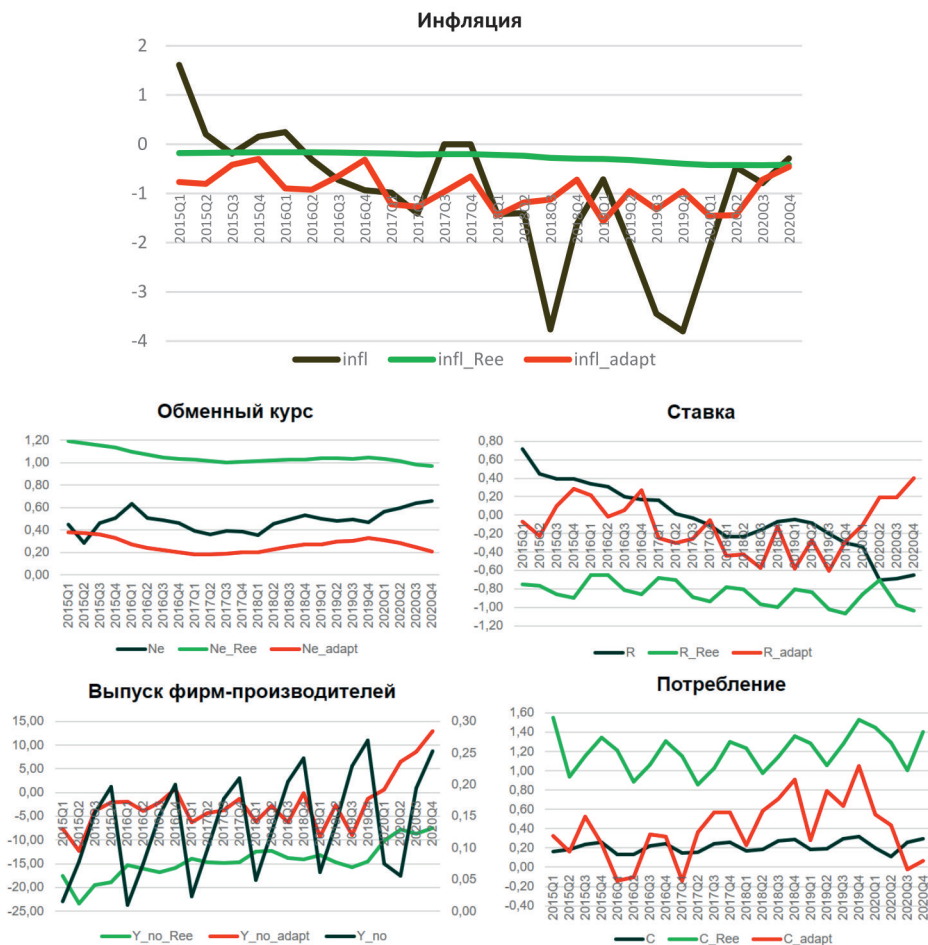


Рис. 3. Фактические и прогнозные траектории для основных макроэкономических показателей в 2015–2020 гг.

Fig. 3. Actual and forecast trajectories for the main macroeconomic indicators in 2015–2020

Глядя на эти графики, можно предположить, что макроэкономические показатели, спрогнозированные моделью с неоднородным АО, точнее отображают реальные данные, нежели аналогичные, спрогнозированные моделью с RE. Чтобы убедиться в этом, как и раньше была проведена оценка качества прогнозов через оценку ошибок прогнозов, а именно через расчет и сравнение показателей MAE, MSE и RMSE для каждой из моделей. Исходя из расчетов, оказалось, что при использовании модели с неоднородным АО по всем показателям значения MAE, MSE и RMSE оказались значительно ниже, значит эта модель действительно дает более точные результаты и лучше отражает российскую действительность.

Построение прогнозов основных показателей на 2021–2022 г.

Поскольку мы показали, что построенная DSGE-модель с неоднородным адаптивным обучением позволяет получить более точные прогнозы, для дальнейшего прогнозирования основных макроэкономических показателей мы использовали именно ее. Выбор такого временного интервала для прогнозирования был обусловлен тем, что далеко не по всем рассматриваемым показателям можно найти статистику на 2021 г., а также тем, что DSGE-модели лучше подходят для краткосрочного прогнозирования (особенно в нынешних условиях большой неопределенности).

Основные предположения, которые были сделаны при построении прогноза:

- произошел шок цен на нефть в I квартале 2021 г. (они увеличились почти на 40 %), а также в I квартале 2022 г. (выросли примерно на 24 %);
- имел место монетарный шок в I квартале 2022 г., когда ставка выросла почти на 88 %;
- начиная со II квартала 2022 г. уровень технологий будет постепенно снижаться (прежде всего в связи с запретом на импорт запчастей, оборудования и невозможностью так быстро внедрить отечественные разработки для собственного производства);
- большинство наблюдаемых переменных сохраняют схожую траекторию движения (экстраполяция данных с учетом сезонности).

В качестве основных макроэкономических показателей, для которых будут получены прогнозы, были взяты те, что обычно прогнозирует ЦБ – выпуск, инфляцию и среднегодовой курс USD. После учета всех предположений получилось, что по итогам 2021 г. инфляция должна была составить примерно 7,4 %, а 2022 г. – около 15,2 %.

Исходя из январского отчета ЦБ, Росстат подтвердил оценку инфляции в РФ за 2021 г. на уровне 8,4 %. Рост цен по итогам 2021 г. на 2,6 п.п. превысил официальный сентябрьский прогноз правительства РФ, равняющийся 5,8 %. Можно сказать, что прогноз, полученный по нашей модели, оказался лучше официального прогноза. Если говорить про прогнозы на 2022 г., годовая инфляция замедлилась в сентябре до 13,7 %, а на конец года с учетом складывающихся тенденций в динамике потребительских цен ЦБ прогнозировал снижение инфляции до 11–13 %.

При построении прогнозов для показателя выпуска получилось, что в 2021 г. ВВП должен был вырасти на 5,4 %, а в 2022 г. снизиться на 4,1 %. Согласно обновленной в марте 2022 г. Росстатом оценке ВВП, данный показатель вырос за 2021 г. на 5,2 %, а прогноз ЦБ, согласно его презентации за апрель 2021 г. «Ситуация в российской экономике и денежно-кредитная политика», заключался в росте показателя ВВП на 3–4 %. Также эксперты ЦБ спрогнозировали по итогам текущего 2022 г. падение ВВП на 4–6 %, при этом крайний сентябрьский прогноз Минэкономразвития несколько позитивнее – снижение ВВП на 2,9 %. Значит, полученный по построенной модели прогноз на 2021 г. оказался снова ближе к реальным значениям.

Среднегодовой курс USD исходя из наших прогнозов в 2021 г. оказался равным 74,3 руб. за доллар США, а в 2022 г. – 76,6. При этом крайний прогноз ЦБ относительно курса в 2021 г. был 73,6 руб. за доллар, а реальное значение сред-

негодового курса оказалось равным 73,68 руб. за 1 доллар США. Следовательно, по данному показателю прогноз ЦБ оказался все-таки ближе. На начало октября среднегодовой курс составил 70,5 руб. за доллар, а по итогам 2022 г., согласно недавним прогнозам аналитиков, среднегодовой курс должен быть 75 руб. за доллар.

Таким образом, для показателей инфляции и ВВП прогноз, полученный по построенной DSGE-модели с учетом неоднородного АО, оказался лучше официальных прогнозов правительства РФ и ЦБ. Видно, что наши прогнозы получаются несколько отличными от прогнозов ЦБ, поскольку в современных реалиях встает необходимость учета еще и структурных сдвигов. С учетом того, что наши прогнозы даже не подвергаются экспертной корректировке, как это делается в ЦБ, полученные по построенной модели прогнозы можно считать адекватными и достаточно хорошо отражающими реальное положение, насколько это возможно в нынешних условиях.

Заключение

Согласно полученным в данной работе результатам, можно сделать следующие основные выводы.

1. Модель с неоднородным АО экономических агентов соответствует данным лучше, чем модель с рациональными ожидаемыми или однородным АО. Это было показано при сравнении полученных оценок параметров модели, функций импульсного отклика и значений для вперед смотрящих переменных. Поэтому данное направление исследований является весьма актуальным в рамках анализа экономики с помощью DSGE-моделей.

2. Построенная и оцененная DSGE-модель в данной работе может использоваться для дальнейших исследований по экономике России, так как достаточно хорошо отражает реалии российской экономики. Это было показано в том числе при построении ретроспективного прогноза для различных показателей.

3. Наилучшим правилом монетарной политики оказалось такое, при котором ЦБ учитывает сглаживание процентной ставки, а также реагирует на инфляцию, обменный курс, выпуск не нефтяных фирм и внутреннюю цену на нефть.

4. Для показателей инфляции и ВВП в годовом исчислении прогноз на 2021 г., полученный по построенной DSGE-модели с учетом неоднородного адаптивного обучения, оказался лучше официальных прогнозов правительства РФ и ЦБ, а для показателя среднегодового курса USD – достаточно близким к официальному.

5. Построенный на 2022 г. прогноз для основных макроэкономических показателей говорит о том, что при осуществлении выдвинутых предположений показатель инфляции на конец года составит 15,5 %, ВВП снизится на 4,6 %, а среднегодовой курс USD будет около 80,5 руб. за 1 доллар. Даже с учетом того, что данные прогнозы не подвергаются экспертной корректировке (как это делается в ЦБ), их можно считать адекватными и достаточно хорошо отражающими реальное положение, насколько это возможно в современных условиях.

Построенная в данной работе малая DSGE-модель вносит вклад в исследование, касающиеся динамических стохастических моделей общего экономическо-

го равновесия, отклоняющихся от стандартного предположения о рациональных ожиданиях, и потенциально может быть применима в качестве не сильно громоздкого инструмента для анализа и прогнозов динамики экономики России, а полученные в результате выводы об оптимальной политике могут быть использованы при формировании экономической политики государства.

Список литературы

1. **Fenton P., Murchison S. C.** ToTEM: The Bank of Canada's New Projection and Policy-Analysis Model // Bank of Canada Review. 2006. Vol. 2006. pp. 5–18.
2. **Harrison R., Nikolov K., Quinn M., Ramsay G., Scott A., Thomas R.** The Bank of England Quarterly Model // Bank of England Publications, 2005.
3. **Brubakk L., Anders T., Maih J., Olsen K., Ostnor M.** Finding NEMO: Documentation of the Norwegian economy model // Norwegian Central Bank, Staff Memo. 2006. No. 2006-6. 85 p. URL: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/210178/1/nb-staff-memo2006-06.pdf>
4. **Erceg C. J., Guerrieri L., Gust C.** Sigma: A New Open Economy Model for Policy Analysis // International Journal of Central Banking. 2006. Vol. 2. Issue 1. pp. 1–50.
5. **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 Series. 2008. No. 944. 124 p. URL: <https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/scpwps/ecbwp944.pdf>
6. **Adolfson M., Laséen S., Linde J., Villani M.** RAMSES: a new general equilibrium model for monetary policy analysis // Risksbank, Economic Review. 2007. Vol. 2. pp. 5–40.
7. **Богомолова А. С., Колюжнов Д. В.** Экономическая динамика при неоднородном адаптивном обучении: общие критерии и достаточные условия стабильности // Мир экономики и управления, 2019. Т. 9, № 4. С. 87–103
8. **Богомолова А. С., Колюжнов Д. В.** Экономическая динамика при неоднородном адаптивном обучении: условия стабильности в терминах агрегированной экономики // Мир экономики и управления. 2020. Т. 20, № 1. С. 128–153.
9. **Sargent T. J.** Bounded Rationality in Macroeconomics. Oxford; N.Y.: Oxford University Press, Clarendon Press, 1993.
10. **Giannitsarou Ch.** Heterogeneous learning // Review of Economic Dynamics. 2003. Vol. 6. pp. 885–906.
11. **Honkapohja S., Mitra K.** Learning stability in economies with heterogeneous agents // Review of Economic Dynamics. 2006. Vol. 9(2). pp. 284–309.
12. **Calvo G.** Staggered prices in a utility maximizing framework. Journal of Monetary Economics. 1983. №12. pp. 383–398.
13. **Egorov D.** Estimation of DSGE model of Russian economy with oil-producing sector, 2016.
14. **Semko R.** Optimal Economic Policy and Oil Price Shocks in Russia. Kyiv: EERC, 2013

15. **Крепцев Д. А., Селезнев С. М.** DSGE-модели российской экономики с малым количеством уравнений // Серия докладов об экономических исследованиях ЦБ РФ. 2016. № 12. С. 3–53.
16. **Иващенко С. М.** DSGE-модель России с пятью секторами // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2016. № 3. С. 176–202.
17. **Algozhina A.** Monetary Policy Rule, Exchange Rate Regime, and Fiscal Policy Cyclicalities in a Developing Oil Economy. CERGE-EI WP. 2016. pp. 3–46.
18. **Ferrero A., Seneca M.** Notes on the underground: monetary policy in resource-rich economies // Norges Bank Working Paper. 2015. No. 2. pp. 3–39.

References

1. **Fenton P., Murchison S. C.** ToTEM: The Bank of Canada's New Projection and Policy-Analysis Model. *Bank of Canada Review*, 2006, Vol. 2006, pp. 5–18.
2. **Harrison R., Nikolov K., Quinn M., Ramsay G., Scott A., Thomas R.** The Bank of England Quarterly Model. Bank of England Publications, 2005.
3. **Brubakk L., Anders T., Maih J., Olsen K., Ostnor M.** Finding NEMO: Documentation of the Norwegian economy model // Norwegian Central Bank, Staff Memo. 2006. No. 2006-6. 85 p. URL: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/210178/1/nb-staff-memo2006-06.pdf>
4. **Erceg C. J., Guerrieri L., Gust C.** Sigma: A New Open Economy Model for Policy Analysis. *International Journal of Central Banking*. 2006, Vol. 2, Issue 1, pp. 1–50.
5. **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 Series*, 2008, No. 944. 124 p. URL: <https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/scpwps/ecbwp944.pdf>
6. **Adolfson M., Laséen S., Linde J., Villani M.** RAMSES: a new general equilibrium model for monetary policy analysis. *Risksbank, Economic Review*, 2007, Vol. 2, pp. 5–40.
7. **Bogomolova A. S., Kolyuzhnov D. V.** Economic Dynamics under Heterogeneous learning: General Criteria and Sufficient Conditions for Stability. *World of Economics and management*, 2019, vol. 19, No. 4, pp. 87–103. (in Russ.).
8. **Bogomolova A. S., Kolyuzhnov D. V.** Economic Dynamics under Heterogeneous Adaptive Learning: Aggregate Economy Sufficient Conditions for Stability. *World of Economics and management*, 2020, vol. 20, No. 1, pp. 128–153. (in Russ.).
9. **Sargent T. J.** Bounded Rationality in Macroeconomics. Oxford; N.Y.: Oxford University Press, Clarendon Press, 1993.
10. **Giannitsarou Ch.** Heterogeneous learning. *Review of Economic Dynamics*. 2003, Vol. 6, pp. 885–906.
11. **Honkapohja S., Mitra K.** Learning stability in economies with heterogeneous agents. *Review of Economic Dynamics*, 2006, Vol. 9(2), pp. 284–309.
12. **Calvo G.** Staggered prices in a utility maximizing framework. *Journal of Monetary Economics*, 1983, №12, pp. 383–398.

13. **Egorov D.** Estimation of DSGE model of Russian economy with oil-producing sector, 2016.
14. **Semko R.** Optimal Economic Policy and Oil Price Shocks in Russia. Kyiv: EERC, 2013
15. **Krepcev D., Seleznev S.** DSGE-modeli rossijskoj ekonomiki s malym kolichestvom uravnenij. *Seriya dokladov ob ekonomicheskikh issledovaniyah CB RF*, 2016, No. 12, pp. 3–53.
16. **Ivashchenko S. M.** DSGE-model' Rossii s pyat'yu sektorami. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta*, 2016, № 3, pp. 176–202.
17. **Algozhina A.** Monetary Policy Rule, Exchange Rate Regime, and Fiscal Policy Cyclicity in a Developing Oil Economy. *CERGE-EI WP*, 2016, pp. 3–46.
18. **Ferrero A., Seneca M.** Notes on the underground: monetary policy in resource-rich economies. *Norges Bank Working Paper*, 2015, No. 2, pp. 3–39.

Информация об авторах

Дмитрий Васильевич Колюжнов, PhD, доцент, экономический факультет, Новосибирский государственный университет; научный сотрудник, Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН
Scopus ID 55940049500

Маргарита Валерьевна Ляхнова, аспирант, Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН

Information about the Authors

Dmitriy V. Kolyuzhnov, PhD (Economics), Associate Professor, Novosibirsk State University; Researcher, Institute of Economics and Industrial Engineering SB RAS
Scopus ID 55940049500

Margarita V. Lyakhnova, postgraduate student, Institute of Economics and Industrial Engineering SB RAS

*Статья поступила в редакцию 07.09.2022;
одобрена после рецензирования 16.09.2022; принята к публикации 16.09.2022*

*The article was submitted 07.09.2022;
approved after reviewing 16.09.2022; accepted for publication 16.09.2022*