

Оценка правил монетарной политики в рамках DSGE модели экономики России

Шульгин А.Г.

[Тезисы, на правах рукописи]

Разработана и оценена модель малой открытой экономики с экзогенными доходами от экспорта нефти, портфельным выбором и промежуточным режимом валютного курса. Данная модель тестируется с помощью байесовской методологии на основе макроэкономической статистики России за 2001-2012 гг.

Монетарная политика в модели задается с помощью двух независимых уравнений: правило валютной политики и правило монетарной политики. Выбор наилучшей комбинации правил монетарной политики осуществляется на основе значения функции правдоподобия вычисленной при оценке различных модификаций модели байесовским методом. Эконометрическое тестирование показывает, что наилучшей комбинацией правил монетарной политики является правило таргетирования валютного курса в комбинации с авторегрессией первого порядка объема рефинансирования. Наилучшая модель целевого валютного курса предполагает, что ЦБ отпускает валютный курс в свободное плавание и осуществляет контрциклическую монетарную политику.

В оцененной модели статистически значимыми оказались эффект привычек в потреблении, эффект издержек изменения объема инвестиций, параметр ценообразования по Кальво. Незначимыми оказались эффект индексации цен, эффект финансового рычага на премию за риск, эффект фискальной стабилизации нефтяных шоков. Оцененная эластичность замещения отечественных товаров импортными оказалась выше единицы, что обусловило негативную реакцию объема производства отечественных товаров на положительный нефтяной шок¹. Итоговый вклад нефтяных шоков в динамику ВВП России очень мал: основной вклад в дисперсию ВВП вносят шоки производительности и шоки внешней конкурентоспособности.

Введение

Целью работы является эконометрическая оценка DSGE модели экономики России. Для реализации данной цели необходимо решение следующих задач:

1. Построение DSGE модели, подходящей для анализа экономики России, и в частности для моделирования промежуточного режима валютного курса.
2. Рассмотрение возможных правил валютной и денежно-кредитной политики, подходящих для описания монетарной политики Банка России в 2001-2012 гг.
3. Оценка модификаций разработанной модели с помощью байесовской методологии². Выбор наилучшей комбинации правил монетарной политики.
4. Оценка байесовским методом параметров модели с наилучшей комбинацией правил монетарной политики.

¹ Эффект замещения, связанный с увеличением относительной цены отечественных благ при укреплении рубля, преобладает над эффектом дохода, связанного с увеличением объема потребления, вызванного ростом дохода от экспорта нефти домашних хозяйств.

² Различные модификации модели соответствуют различным комбинациям правил валютной и денежно-кредитной политики страны, включенным в модель.

Модель

Рассмотрим малую открытую экономику, которая состоит из континуума домашних хозяйств, континуума фирм, правительства, центрального банка и зарубежных агентов. Домашние хозяйства максимизируют функцию полезности по трем аргументам: потребляемым товарам, времени досуга и реальным деньгам, и имеют бесконечный горизонт планирования. Домашние хозяйства размещают свое богатство в наличных деньгах и ценных бумагах, принимая решение о выборе оптимальной доли портфеля, инвестированной в иностранные активы. Аналогичное решение принимается ими при управлении долгами фирмы: часть долгов берется в иностранной валюте, исходя из характеристик ожидаемой доходности и риска. Домашние хозяйства управляют капиталом принадлежащих им фирм, производящих промежуточные товары, а также принимают решение о предложении собственного труда. В модели существуют фирмы трех типов: (а) производители конечных благ, действующие в условиях совершенной конкуренции, и использующие в качестве сырья промежуточные товары и импорт; (б) производители промежуточных благ, которые действуют в условиях монополистической конкуренции и устанавливают цену по модели Кальво; (в) фирмы, производящие капитальные товары.

Экзогенные доходы от экспорта нефти поступают в бюджет домашних хозяйств, а часть нефтяных доходов отчисляется в стабилизационный фонд. Правительство ведет себя по принципу эквивалентности Барро-Рикардо, то есть не осуществляет активной фискальной политики, сводя бюджет с нулевым дефицитом. Средства стабилизационного фонда используются для сглаживания колебаний нефтяных доходов домашних хозяйств, то есть играют роль автоматического фискального стабилизатора. При высоких ценах на нефть на мировом рынке стабилизационный фонд накапливается, чтобы при падении нефтяных цен ниже стационарного уровня, обеспечить более высокий уровень поступлений от экспорта нефти домашним хозяйствам.

Рассмотрим замкнутую систему активов агентов:

Домашние хозяйства и фирмы

А		П	
M_t		NW_t	
B_t	B_t^H		
	B_t^F		
$P_t \cdot Q_t \cdot K_t$		D_t	D_t^H
			D_t^F

Центральный банк

А	П
IR_t^h	M_t
D_t^H	B_t^H

Иностранные агенты

А	П
D_t^F	B_t^F
	IR_t^h

Другие

А	П
NW_t	$P_t \cdot Q_t \cdot K_t$

Домашние хозяйства обладают активами в форме денег M_t , а также процентных активов B_t , вложенных в отечественные облигации B_t^H и иностранные облигации B_t^F . Совокупность ликвидных и процентных активов составляют чистое богатство домашних хозяйств $NW_t = M_t + B_t$. Капитал фирм $P_t \cdot Q_t \cdot K_t$ приобретен на заемные средства D_t , которые состоят из займов в отечественной D_t^H и иностранной валюте D_t^F .

Центральный банк выпускает деньги M_t и собственные облигации B_t^H под обеспечение международными резервами IR_t^H и долгами фирм D_t^H ³. Для малой открытой экономики баланс иностранных агентов не обязательно должен сводиться с нулевым сальдо, что оставляет возможности для маневра как ЦБ, который может покупать на международном рынке капитала столько международных резервов IR_t^H , сколько ему необходимо, так и для частных агентов, которые также не ограничены с точки зрения займа D_t^F и инвестирования B_t^F . Таким образом, предложение активов на международном рынке совершенно эластично по ставке процента.

Базовые свойства структуры рынков, оптимизация поведения агентов, список введенных кейнсианских несовершенств и другие свойства разработанной модели наиболее близки работам Smets, Wouters (2003) и Christiano, Eichenbaum, Evans (2005), модифицируя их с точки зрения задания условий функционирования малой открытой экономики, введения портфельного выбора домашних хозяйств и промежуточного режима валютного курса. ЦБ имеет два независимых инструмента монетарной политики, имея возможность как управлять ставкой процента, так и проводить интервенции на валютном рынке в промежуточном валютном режиме. Таким образом, отечественная ставка процента не обязательно выравнивается с зарубежной ставкой согласно непокрытому процентному паритету, но может существовать *ненулевой* дифференциал ожидаемых доходностей $E_t id_{t+1}$, который побуждает домашние хозяйства формировать соответствующий портфель из отечественных и зарубежных активов.

Далее приведены базовые предпосылки и условия модели.⁴

Домашние хозяйства

Каждое домашнее хозяйство j максимизирует интегральную функцию полезности:

$$\Lambda_t = E_0 \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \cdot U_t(j) \cdot \varepsilon_t^b \quad (1)$$

Функция полезности является аддитивно-сепарабельной по трем аргументам:

³ Данная структура баланса ЦБ обусловлена тем, что коммерческие банки в модель не включены, поэтому рынок заемных средств уравнивается с помощью ЦБ

⁴ Обозначения в большинстве своем совпадают с обозначениями в Smets, Wouters (2003). Приведенные ниже формулы призваны лишь проиллюстрировать базовые свойства модели, но не являются исчерпывающим описанием модели. Все подробности приведены в полной версии статьи. Нумерация формул соответствует полной версии работы.

$$U_t(j) = \frac{1}{1-\sigma_c} \cdot (C_t(j) - H_t)^{1-\sigma_c} - \frac{\varepsilon_t^l}{1+\sigma_l} \cdot l_t(j)^{1+\sigma_l} + \frac{\varepsilon_t^m}{1-\sigma_m} \cdot \left(\frac{M_t(j)}{P_t} \right)^{1-\sigma_m} \quad (3)^5$$

Привычки в потреблении определяются прошлым уровнем агрегированного потребления:

$$H_t = h \cdot C_{t-1} \quad h \in (0, 1) \quad (4)$$

Домашние хозяйства оптимизируют свое поведение с точки зрения выбора траектории потребления, выбора между трудом и потреблением, и выбора оптимального спроса на деньги. Также домашние хозяйства формируют спрос на иностранные активы:

$$NPFA_t = \frac{E_t \left\{ \frac{id_{t+1}}{P_{t+1}} \cdot \Lambda_{C,t+1} \right\}}{E_t \left\{ \frac{(E_t id_{t+1})^2 + D(id_t)}{P_{t+1}^2} \cdot \Lambda_{C,t+1}^{(1+\sigma_c)/\sigma_c} \right\}} \cdot \frac{1}{\sigma_c} \quad (24a)$$

Производство конечных товаров и услуг

Производители конечной продукции используют на входе континуум промежуточных благ и импортный товар в производственной функции с постоянной эластичностью замещения (CES):

$$Y_t = \left[\gamma^{\frac{1}{k}} \cdot (Y_t^H)^{\frac{k-1}{k}} + (1-\gamma)^{\frac{1}{k}} \cdot (Im_t)^{\frac{k-1}{k}} \right]^{\frac{k}{k-1}} \quad (25)$$

Решая задачу минимизации издержек производства единицы конечного блага, получаем спрос на промежуточные блага и импорт:

$$Y_t^H = \left(\frac{P_t^H}{P_t} \right)^{-\kappa} \cdot \gamma \cdot Y_t \quad (28)$$

$$Im_t = \left(\frac{P_t^F}{P_t} \right)^{-\kappa} \cdot (1-\gamma) \cdot Y_t \quad (29)$$

Производство промежуточных товаров и услуг

В экономике производится континуум промежуточных благ с использованием следующей технологии:

$$Y_t^H(j) = \varepsilon_t^\alpha \cdot (z_t(j) \cdot K_{t-1}(j))^\alpha \cdot L_t(j)^{1-\alpha} \quad (32)$$

В каждый период фирма решает, сколько труда нанять и насколько интенсивно использовать уже существующий капитал. Также фирма выбирает объем инвестиций, чтобы сформировать капитал для будущего периода.

Ценообразование аналогично модели Calvo (1983) фирма меняет свою цену на оптимальную $P_t^0(j)$ при получении случайного сигнала, вероятность получения которого не зависит от прошлого и равна $1-\theta$. С вероятностью θ фирма произведет индексацию цены на прошлую инфляцию:

⁵ Далее ε_t - авторегрессионные процессы первого порядка; η_t - структурные шоки; ρ - коэффициенты авторегрессии первого порядка.

$$P_t^H(j) = \begin{cases} P_t^0(j), & p = 1 - \theta \\ P_{t-1}^H(j) \cdot (1 + \pi_{t-1}^H)^\chi, & p = \theta \end{cases} \quad (40)$$

Здесь $\chi \in (0, 1)$ - параметр, определяющий степень индексации: с помощью механизма индексации мы стремимся объяснить феномен инфляционной инерции.

Производство капитальных благ

Фирмы, производящие капитальные блага, используют следующую производственную функцию:

$$K_t = K_{t-1} \cdot (1 - \delta) + (1 + \varepsilon_t^I - Z(\frac{I_t}{I_{t-1}})) \cdot I_t \quad (53)$$

Здесь функция издержек подстройки инвестиций:

$$Z(\frac{I_t}{I_{t-1}}) = \phi_K \cdot (\frac{I_t}{I_{t-1}} - 1)^2 \quad \phi_K > 0 \quad (54)$$

Государственные расходы и налоги

Правительство собирает налоги T_t с домашних хозяйств, присваивает 100% прибыли ЦБ, а на полученные в каждом периоде средства производит закупку государственных товаров G_t . Бюджетное ограничение правительства удовлетворяет условию эквивалентности Барро-Рикардо:

$$G_t = T_t + \frac{Ref_{t-1} \cdot i_{t-1}^{Ref} + S_t \cdot IR_{t-1} \cdot i_{t-1}^{Ref*}}{P_t} \quad (68)$$

Общее равновесие

На рынке конечных товаров спрос равен предложению, когда:

$$Y_t = C_t + I_t + G_t + \phi_Z \cdot (z_t - 1)^2 \cdot K_{t-1} \quad (71)$$

Условие нулевого сальдо платежного баланса:

$$P_t^{Oil*AT} \cdot X - P_t^{F*} \cdot IM_t + IR_{t-1} \cdot i_{t-1}^* - \frac{NPFA_t}{S_t} + \frac{NPFA_{t-1}}{S_{t-1}} \cdot (1 + i_{t-1}^*) = \Delta IR_t \quad (74)$$

Условие равновесия на рынке заемных средств:

$$NPFA_t - Ref_t = B_t - P_t \cdot Q_t \cdot K_t \quad (76)$$

Монетарная политика в промежуточном режиме:

В разработанной модели введено 2 инструмента монетарной политики:

1. Запас международных резервов IR_t , который ЦБ может либо пополнять, закупая валюту на рынке, либо тратить, защищая отечественную валюту от ослабления.
2. Объем рефинансированных кредитов Ref_t , с помощью которых ЦБ может устанавливать нужную процентную ставку.

Цели ЦБ принято делить на три категории⁶:

1. Политические цели (PG - policy goals).

⁶ Walsh (2010)

2. Промежуточные цели (ИТ - intermediate targets)
3. Операционные цели (ОТ - operational targets)

Операционные цели монетарной политики

При анализе валютной политики рассматриваются две альтернативные операционные цели: курс иностранной валюты S_t и объем международных резервов IR_t .

При анализе дежено-кредитной политики также рассматриваются два альтернативных варианта операционных целей: безрисковая ставка процента (в модели совпадает со ставкой рефинансирования i_t^{Ref}) и объем рефинансированных ЦБ кредитов Ref_t .

Таким образом, далее тестируются 4 комбинации операционных целей монетарной политики:

1. Валютный курс S_t и объем рефинансирования Ref_t
2. Валютный курс S_t и ставка рефинансирования i_t^{Ref}
3. Объем международных резервов IR_t и объем рефинансирования Ref_t
4. Объем международных резервов IR_t и ставка рефинансирования i_t^{Ref}

Правила монетарной политики

Правила монетарной политики устанавливают связь между операционными и политическими целями ЦБ. Для случая промежуточного режима разнообразие возможных правил монетарной политики велико: каждой из четырех операционных целей соответствуют несколько (как минимум два) правил монетарной политики.

Первый вариант правила для каждой операционной цели можно условно назвать «отсутствие правила»: если величина операционной цели следует авторегрессии первого порядка.

$$S_t = \rho_S \cdot S_{t-1} + \eta_t^S \quad ARS \quad (80)$$

$$IR_t = \rho_{IR} \cdot IR_{t-1} + \eta_t^{IR} \quad ARIR \quad (81)$$

$$i_t^{Ref} = \rho_{PR} \cdot i_{t-1}^{Ref} + \eta_t^{PR} \quad ARi^{Ref} \quad (82)$$

$$Ref_t = \rho_{Ref} \cdot Ref_{t-1} + \eta_t^{Ref} \quad ARRef \quad (83)$$

Правила для валютного курса

Принцип оптимальной скорости коррекции валютного курса (оптимальной инерционности валютного курса) можно реализовать с помощью правила таргетирования валютного курса (84):

$$S_t = (1 - \psi_S) \cdot S_{t-1} + \psi_S \cdot S_t^T + \eta_t^S \quad \psi_S \in (0, 1) \quad (84)$$

Здесь: S_t^T - целевой (targeting) валютный курс; коэффициент $\psi_S \in (0, 1)$ задает скорость сходимости курса в промежуточном режиме к целевому курсу, а, соответственно, $(1 - \psi_S)$ характеризует инерционность валютного курса. Таким образом, ЦБ, управляя параметром инерционности, может необходимым образом ограждать

валютный курс от всех шоков, кроме тех, которые задает он сам (η_t^S), то есть тех, которые соответствуют дискреционной компоненте валютной политики.

Рабочая гипотеза состоит в том, что целевой валютный курс соответствует условию баланса внешних платежей страны, то есть соответствует режиму свободного плавания, в котором ЦБ не производит интервенций на валютном рынке. Экономике России с плавающим курсом в реальности не существует, но DSGE методология позволяет ее смоделировать, а ЦБ может с некоторой точностью рассчитать ее параметры, и, в частности, валютный курс S_t^T .

Что касается уравнений политики, то одним из двух уравнений будет условие нахождения в режиме свободного плавания (отсутствия валютных интервенций):

$$IR_t^T = IR_{t-1} \quad (85)$$

Вторым уравнением должно быть некоторое правило денежно-кредитной политики. В работе рассмотрены несколько вариантов:

Правило Тэйлора (FFTR – free floating with Taylor rule):

$$\dot{i}_t^{Ref T} = \bar{i}^{Ref} + (1 + k_\pi) \cdot \pi_t^T + k_y \cdot \frac{Y_t^T - \bar{Y}}{\bar{Y}} \quad FFTR \quad (86)$$

Здесь π_t^T - инфляция, а Y_t^T - объем производства финальных благ, соответствующие экономике целевого курса.

Таргетирование денежной массы (FFMT – free floating with money targeting):

$$M_t^T = M_{t-1} \quad FFMT \quad (87)$$

Таргетирование уровня цен: (FFPT – free floating with price level targeting):

$$P_t^T = P_{t-1} \quad FFPT \quad (88)$$

Условия, связывающие фактическую экономику и экономику целевого валютного курса:

$$E_t X_{j,t+1}^T = E_t X_{j,t+1} \quad j \in FLV \quad k \in PDV \quad (89)$$

$$X_{k,t-1}^T = X_{k,t-1}$$

Здесь $X_{j,t}$ - вперед-смотрящие эндогенные переменные модели; FLV –множество вперед-смотрящих переменных модели;

$X_{k,t}$ - назад-смотрящие эндогенные переменные модели; PDV –множество назад-смотрящих (предопределенных) переменных модели;

Альтернативная гипотеза о формировании целевого валютного курса ЦБ-ом состоит в том, что ЦБ использует некоторое простое правило, в явном виде связывающее валютный курс с макроэкономическими переменными, играющими важную роль для макроэкономической стабилизации.

Далее рассматриваются три таких фактора привязки (корректировки) валютного курса:

1. Цены на нефть P_t^{Oil*} . При инерционном управлении валютным курсом цены на нефть становятся фактором⁷ целевого курса S_t^T :

⁷ В режиме свободного плавания цены на нефть также будут влиять на целевой валютный курс, но наряду с остальными шоками, влияющими на платежный баланс страны. Альтернативная гипотеза предполагает, что

$$\frac{S_t^T - \bar{S}}{\bar{S}} = -k_{Poil} \cdot \frac{P_t^{Oil*} - \bar{P}^{Oil*}}{\bar{P}^{Oil*}} \quad k_{Poil} > 0 \quad ERTRPoil \quad (90)$$

2. Объем накопленных международных резервов IR_t .

$$\frac{S_t^T - \bar{S}}{\bar{S}} = -k_{IR} \cdot \frac{IR_t - \bar{IR}}{\bar{IR}} \quad k_{IR} > 0 \quad ERTRIR \quad (91)$$

3. Уровень относительных цен $\frac{P_t^H}{P_t^F}$, определяющий конкурентоспособность отечественных товаров.

$$\frac{S_t^T - \bar{S}}{\bar{S}} = k_P \cdot \frac{P_t^H / P_t^F - \bar{P}^H / \bar{P}^F}{\bar{P}^H / \bar{P}^F} \quad k_P > 0 \quad ERTRRP \quad (92)$$

Правила для международных резервов

Использование международных резервов в качестве операционного ориентира означает, что ЦБ не оказывает *систематического* воздействия на валютный курс и на экономику в целом, но использует валютные интервенции для сглаживания *спекулятивных* колебаний валютного курса. Данный режим классифицируется МВФ⁸ как управляемое плавание (*MF – managed floating*).

В рассмотренном выше авторегрессионном правиле для международных резервов (81) вся валютная политика сводится к дискреционной компоненте в международных резервах: шоки η_t^{IR} можно трактовать как несистематические валютные интервенции, традиционно связываемые со спекулятивными колебаниями валютного курса.

Далее анализируется правило для международных резервов, предполагающее, что приток/отток капитала, основанный на ожидаемом дифференциале процентных ставок, создает спекулятивную динамику валютного курса, которую ЦБ в данном режиме старается нейтрализовать:

$$\begin{aligned} IR_t &= (1 - \psi_{IR}) \cdot IR_{t-1} + \psi_{IR} \cdot IR_t^T + \eta_t^{IR} \\ IR_t^T &= \bar{IR} - k_{NPFA} \cdot NPFA_{t-1} \end{aligned} \quad k_{NPFA} > 0 \quad CFRR \quad (93)$$

Здесь коэффициент $k_{NPFA} > 0$ задает долю динамики чистых международных активов $NPFA_t$, которую ЦБ компенсирует своими интервенциями.

Правила для ставки процента

Правило Тэйлора для ставки процента чаще всего оценивается совместно с персистентной компонентой (TRP – Taylor rule with persistence):

$$i_t^{Ref} = (1 - \psi_{PR}) \cdot i_{t-1}^{Ref} + \psi_{PR} \cdot \left(\bar{i}^{Ref} + (1 + k_\pi) \cdot \pi_t + k_y \cdot \frac{Y_t - \bar{Y}}{\bar{Y}} \right) + \eta_t^{PR} \quad k_y > 0, k_\pi > 0 \quad (94)$$

цены на нефть (и/или другие рассматриваемые факторы привязки) является единственной причиной коррекции валютного курса (единственным фактором целевого валютного курса)

⁸ <http://www.imf.org/external/np/mfd/er/2008/eng/0408.htm>

Данное правило характеризует активную стабилизационную политику ЦБ, который с помощью ставки рефинансирования управляет инфляцией и колебаниями выпуска. Инерционность ставки процента определяется коэффициентом $(1 - \psi_{PR}) \in (0, 1)$. Шоки η_t^{PR} характеризуют дискреционную компоненту ставки рефинансирования.

Правила для объема рефинансирования

Оба рассматриваемых правила управления объемом рефинансирования являются пассивными. Вместе с уже описанным правилом авторегрессии для Ref_t (83), оценивается правило стерилизации валютных интервенций:

$$\begin{aligned} Ref_t &= (1 - \psi_{SI}) \cdot Ref_{t-1} + \psi_{SI} \cdot Ref_t^T + \eta_t^{Ref} \\ Ref_t^T &= \overline{Ref} - k_{SI} \cdot (IR_t^h - \overline{IR}) \end{aligned} \quad \psi_{SI} \in (0, 1) \quad SR \quad (96)$$

Здесь: коэффициент ψ_{SI} имеет смысл скорости схождения объема рефинансированных кредитов к целевому уровню Ref_t^T , а коэффициент $(1 - \psi_{SI})$, соответственно задает инерционность динамики объема рефинансирования. Коэффициент стерилизации $k_{SI} \in (0, 1)$ показывает, какой объем валютных интервенций ЦБ желает стерилизовать за счет рефинансирования.

Оценка модели

Предложенная модель оценивается с помощью байесовских методов на основе макроэкономической статистики России 2001-2012 гг. (квартальные данные).

Байесовская методология оценки DSGE моделей

Оценка модели базируется на байесовской методологии, в которой основная задача состоит в оценке постериорной плотности распределения параметров модели $f(\theta|Y)$:

$$f(\theta|Y) = \frac{f(\theta) \cdot L(\theta, Y)}{f(Y)} \quad (1)$$

Где $f(\theta)$ - (а)приорная плотность распределения параметров; $L(\theta, Y)$ - функция правдоподобия, рассчитанная на основе доступной информации Y ; $f(Y) = \int f(\theta) \cdot L(\theta, Y) d\theta$ - безусловная плотность вероятности, которая используется для сравнения качества моделей (далее в тексте «интегральная функция правдоподобия»)⁹.

На основе рассчитанной плотности $f(\theta|Y)$ с помощью численных алгоритмов можно получить необходимые статистические характеристики параметров модели: прежде всего, средние значения и доверительные интервалы оценок параметров.

Приоры

Байесовский метод анализа требует задания функции распределения priors оцениваемых параметров. Все параметры разработанной модели определены либо в области положительных действительных чисел R^+ , либо определены на интервале $(0, 1)$.

⁹ При расчете $f(\theta|Y)$ интегральная функция правдоподобия рассматривается как константа.

Функции распределения priоров для стандартных ошибок и авторегрессионных коэффициентов определены как в модели Smets, Wouters (2003):

- Приоры для стандартных ошибок шоков имеют *обратное гамма* распределение $Inv - \Gamma$ со следующими параметрами: $E(std.dev) = \sigma_j^\sigma$, $\sigma(std.dev) \rightarrow \infty$. Значения σ_j^σ выбираются близкими к постериорным модам, чтобы минимизировать искажения, создаваемые priorными распределениями параметров.
- Приоры для авторегрессионных коэффициентов имеют *бета* распределение со следующими параметрами: $E(\rho) = 0.85$, $\sigma(\rho) = \sigma_j^\rho$.
- Для оценки остальных параметров модели используется следующий алгоритм задания priоров:
 1. Производится оценка модели с *равномерно* распределенными priорами¹⁰ для четырех модификаций модели, соответствующим четырем комбинациям *авторегрессионных* правил монетарной политики.
 2. Полученные на первом шаге значения мод параметров $M(\theta)$ используются для задания функций распределения priоров¹¹.

Таким образом, все оценки, полученные ниже, сделаны на основе пяти наборов priorных распределений параметров: равномерно распределенные priоры для остальных параметров и четыре набора priоров, соответствующих четырем оценкам модели с авторегрессионными правилами политики.

Данные

Модель тестируется на квартальных данных для экономики России. Далее рассматриваются два временных интервала¹²:

S1: 1994:Q1 – 2012:Q4. Период S1 включает в себя два кризиса: 1998 г. и 2008-2009 гг.

S2: 2001:Q1 – 2012:Q4 Период S2 включает в себя только один кризис 2008-2009 гг. Оценка ключевых параметров модели базируется на информации о следующих наблюдаемых переменных:

1. **Реальный ВВП** Y_t^{GDP} . (*Очищенный от сезонности индекс*). (Росстат)
2. **Реальное потребление** C_t . (*Очищенный от сезонности индекс*). (Росстат). Для получения данного ряда использовались данные о потреблении на душу населения товаров и услуг, а также произведенных населением платежей и взносов (в текущих ценах). Данный показатель нормировался на индекс потребительских цен.
3. **Реальные инвестиции** I_t . (*Очищенный от сезонности индекс*). (Росстат)

¹⁰ Равномерное распределение priоров на первом шаге используется только для остальных параметров. Стандартные ошибки и авторегрессионные коэффициенты во всех тестах имеют выпуклые распределения priоров.

¹¹ Параметры политики во всех тестах имеют равномерное распределение priоров.

¹² Предварительный анализ переменных показал, что использование диапазона S1 для оценки *единого* правила политики ЦБ невозможно: в период 1994-2000 гг. поведение ставки рефинансирования и валютного курса кардинально отличается от динамики переменных в диапазоне S2. В итоге информация о переменных в диапазоне S1 используется только для вычисления отфильтрованных с помощью фильтра Ходрика-Прескотта переменных (тренда).

4. **Реальная заработная плата** $\frac{W_t}{P_t}$. (Очищенный от сезонности индекс). (Росстат)
5. **Курс иностранной валюты** S_t . (International Financial Statistics (МВФ)).
Использовалась обратная величина индекса номинального эффективного курса рубля.
6. **Международные резервы** IR_t . (International Financial Statistics (МВФ)). Из международных резервов было исключено монетарное золото.
7. **Цены на нефть** P_t^{Oil*} (International Financial Statistics (МВФ)).
8. **Импорт в текущих ценах** $P_t^F \cdot Im_t$ (Росстат)
9. **Ставка рефинансирования** i_t^{Ref} (Банк России)
10. **Ставка по кредитам** i_t (Банк России)
11. **Инфляция на основе цен производителей (ИПП)** π_t^H (Росстат)
12. **Денежная масса (М2)** (Банк России)

Все показатели были пересчитаны в терминах процентного отклонения от долгосрочного тренда.

Калибровка параметров

Калибровка некоторых параметров необходима, так как избавленная от тренда и постоянных уровней динамика наблюдаемых переменных не позволяет определить стационарные уровни эндогенных переменных модели.

Точкой отсчета для определения стационарных значений модели будем считать реальный (в терминах импортных товаров) доход от экспорта нефти, который установим на уровне базовой единицы:

$$\frac{\bar{P}^{Oil*}}{\bar{P}^F} \cdot X = 1 \quad (1)$$

Обозначим долю государственного сектора в ВВП:

$$\frac{\bar{P} \cdot \bar{G}}{\bar{P}^H \cdot \bar{Y}^H + \bar{P}^{Oil*} \cdot X \cdot \bar{S}} = \frac{\bar{P} \cdot \bar{G}}{\bar{P}^H \cdot \bar{Y}^H + \bar{P}^F \cdot 1} \equiv \Gamma_1 \quad (2)$$

Обозначим долю импорта в ВВП:

$$\frac{\bar{P}^F \cdot \bar{Im}}{\bar{P}^H \cdot \bar{Y}^H + \bar{P}^F \cdot 1} \equiv \Gamma_2 \quad (3)$$

Доли Γ_1 и Γ_2 рассчитаны для России в 2007 г.:

$$\Gamma_1 = \frac{11245.8 \text{ млрд. руб.}}{32988 \text{ млрд. руб.}} = 0.341$$

$$\Gamma_2 = \frac{223.486 \text{ млрд. USD} \cdot 24.54 \text{ руб./USD}}{32988 \text{ млрд. руб.}} = 0.1663$$

Условия (2) и (3) позволяют определить показатели T_0 и γ ¹³.

Оптимальный объем международных резервов как доля доходов от экспорта¹⁴ выбран на уровне $\eta = 3$, что соответствует экспорту за 3 квартала.

Для России уровень β выбран на уровне $\beta = 0.98$, что приводит к стационарному уровню ставки процента: $\bar{i} = \bar{i}^* = \frac{1-\beta}{\beta} = 0.020408$ за квартал. При нулевой стационарной инфляции данный уровень соответствует средней реальной ставке процента 8.41% годовых.

Обозначим отношение стационарной премии за риск к стационарной ставке процента:

$$\frac{rp}{\bar{i}} \equiv \Gamma_3 \quad (4)$$

Согласно данным в России средний уровень ставки процента (кредиты до года) за 2001-2012 гг. составил $\bar{i}^{Cred} = 0.0304$, а ставка на межбанковском рынке кредитов в течение этого периода составила $\bar{i}^{IB} = 0.0133$. Приняв последнюю за средний уровень безрисковой ставки процента, можно косвенно вычислить Γ_3 :

$$\Gamma_3 = \frac{0.0304 - 0.0133}{0.0304} = 0.563$$

Параметр ϕ_{rp} в функции (59) определяется исходя из известного значения Γ_3 и стационарных значений эндогенных переменных, определяющих функцию премии за риск (59).

Параметр ϕ_z устанавливается на таком уровне, при котором фирмы практически не используют возможность увеличения интенсивности использования капитала для увеличения объемов производства¹⁵: $\phi_z = 100$. При таком значении ϕ_z получается стационарный уровень интенсивности $\bar{z} = 1.00018$. То есть фирмы в стационарном состоянии лишь на 0.018% увеличивают интенсивность использования капитала. Объем капитала при значительных издержках ϕ_z становится более чувствительным к шокам в экономике.

В таблице 1 приведены калиброванные параметры модели.

Название показателя	Значение показателя	Комментарий
Коэффициент амортизации	$\delta = 0.025$	Соответствует амортизации 10% в год (Bernanke, Gertler, Gilchrist (1999))

¹³ Технически это реализуется в пакете Dynare посредством включения T_0 и γ в состав вспомогательных эндогенных переменных модели, хотя, по своей сути, они являются параметрами модели. Такая же процедура применяется для σ_m и ϕ_{rp} .

¹⁴ Для удобства в модели международные резервы соотносятся с экспортом, хотя ориентиром достаточности международных резервов считается импорт. Данный показатель не калибруется на реальных данных, так как нет обоснованных значений η , используемых при выборе среднего оптимального объема международных резервов Банком России.

¹⁵ Данный параметр калибруется потому, что он не идентифицируется на данных, но сильно влияет на стационарный запас капитала.

Эластичность замещения между отдельными отечественными благами	$\varphi = 6$	Соответствует $\mu = 1.2$ (наценка 20%)
Субъективный дисконт	$\beta = 0.98$	Соответствует реальной ставке процента 8.41%
Объем поступлений от экспорта нефти	$X = 1$	Условие (1)
Равновесная цена на нефть	$\bar{P}^{Oil*} = 1$	Условие (1)
Равновесный уровень цен на зарубежные блага	$\bar{P}^{F*} = 1$	Условие (1)
Параметр, определяющий оптимальный объем международных резервов	$\eta = 3$	Критерий достаточности международных резервов.
Параметр функции потерь от увеличения интенсивности использования капитала	$\phi_z = 100$	В стационарной точке интенсивность использования капитала $\bar{z} = 1.00018$

Таблица 1. Калибровка параметров модели

Результаты оценки модели с различными правилами монетарной политики

Оценим различные модификации модели, соответствующие рассмотренным выше комбинациям правил валютной и денежно-кредитной политики. На первом этапе тестирования для каждой из четырех операционных целей ЦБ рассматриваются два правила: авторегрессионное правило и обычное правило, соответствующее данной операционной цели. Из восьми правил политики можно скомбинировать 16 модификаций модели, каждая из которых оценивается на базе пяти наборов приорных распределений.

На этапе выбора лучшей комбинации правил основным оцениваемым параметром является оценка безусловной плотности вероятности $f(\mathbf{Y}) = \int f(\boldsymbol{\theta}) \cdot L(\boldsymbol{\theta}, \mathbf{Y}) d\boldsymbol{\theta}$ методом Лапласа¹⁶. В таблице 2 приведены результаты расчетов 16 модификаций для пяти наборов priоров.

¹⁶ Особенностью оценки функции безусловной плотности $f(\mathbf{Y})$ является то, что ее аппроксимация чувствительна к форме графика плотности распределения priоров. Поэтому сравнивать можно только модели, оцененные на основе одних и тех же распределений priоров.

Prior set						Prior set
Flat	X	-16.0	TRP Правило Тэйлора с персистентной компонентой	-11.8	-11.8	Flat
I	-2	-10.9		-5.4	-5.4	I
II	-30.9	-34.1		-26.3	-26.3	II
III	X	-13.4		-6.2	-6.2	III
IV	-28.9	-32.9		X	X	IV
Flat	X	-16.0	ARi^{Ref} Авторегрессия безрисковой ставки (ставки рефинансирования)	-6.7	-6.7	Flat
I	-2	-10.9		0	-2	I
II	-30.9	-34.1		-21.1	-22.6	II
III	X	-13.4		0	-1.4	III
IV	-28.9	-32.9		-20.2	-21.1	IV
	FFMT Таргетирование валютного курса к свободно плавающему	ARS Авторегрессия валютного курса	Правила монетарной политики	ARIR Авторегрессия международных резервов	MF Правило резервирования оттока/притока капитала	
Flat	0	-8.7	ARRef Авторегрессия объема рефинансирования	-8.7	-8.7	Flat
I	-7.1	-12.2		-11.2	-11.2	I
II	0	-11.1		-9.4	-9.4	II
III	-1.4	-12.4		-12.1	-12.1	III
IV	0	-9.4		-7.6	-7.6	IV
Flat	0	-8.7	SR Правило стерилизации валютных интервенций	-8.7	-8.7	Flat
I	-7.1	-12.2		-11.2	-11.2	I
II	0	-11.1		-9.4	-9.4	II
III	-2.3	-12.5		-12.1	-12.1	III
IV	0	-9.4		-7.6	-7.6	IV

Таблица 2. Оценка функции безусловной плотности $f(\mathbf{Y})$ методом Лапласа для различных комбинаций правил валютной и денежно-кредитной политики. Значения приведены в отклонениях от максимума для используемого набора priоров.

Обозначения в таблице:

Prior set – набор priоров, используемых при оценке;

Flat – равномерное распределение остальных параметров;

I – набор priоров на основе комбинации правил $ARS+ARi^{Ref}$;

II – набор priоров на основе комбинации правил $ARS+ARRef$;

III – набор priоров на основе комбинации правил $ARIR+ARi^{Ref}$;

IV – набор priоров на основе комбинации правил $ARIR+ARRef$;

Серым цветом выделены ячейки, в которых оценка правила политики сходится к авторегрессионному правилу для данной операционной цели, то есть данное правило хуже, чем авторегрессионная пара;

X – используемые алгоритмы оптимизации не позволяют найти максимум функции постериорной плотности $f(\boldsymbol{\theta}|\mathbf{Y})$ по параметрам;

Таблица 2 показывает, что только правило таргетирования валютного курса для всех наборов priоров позволяет улучшить оценку модели, полученную на основе авторегрессионных правил. В таблице 2 приведены расчеты только для одной модели

таргетирования, в которой предполагается режим свободного плавания вместе с таргетированием денежной массы. Проанализируем другие модели таргетирования валютного курса, рассмотренные выше. Результаты приведены в таблице 3.

Flat	<i>ARi^{Ref}</i>	-27.7	X	X	X	X	Flat
I	Авторегрессия ставки рефинансирования	-16	-7.1	0	-4.4	-6.5	I
II		-40.6	-37.4	-25.7	-28.5	-30.8	II
Правила монетарной политики		<i>ARS</i> Авторегрессия валютного курса	<i>FFMT</i> Свободное плавание + таргетирование денежной массы	<i>FFPT</i> Свободное плавание + таргетирование уровня цен	<i>FFTR</i> Свободное плавание + правило Тэйлора	<i>ERTRPoil</i> Цены на нефть – единственный фактор целевого курса	
Flat	<i>ARRef</i>	-20.4	-11.7	-6.5	0	-11.6	Flat
I	Авторегрессия объема рефинансирования	-17.3	-12.2	-1.2	-2.5	-9.1	I
II		-17.6	-6.5	0	-1	-7.6	II

Таблица 3. Оценка функции безусловной плотности $f(\mathbf{Y})$ методом Лапласа для различных вариантов целевого валютного курса. Значения приведены в отклонениях от максимума для используемого набора priоров.

Обозначения в таблице:

Prior set – набор priоров, используемых при оценке;

Flat – равномерное распределение остальных параметров;

I – набор priоров на основе комбинации правил *ARS+ARi^{Ref}*;

II – набор priоров на основе комбинации правил *ARS+ARRef*;

X – используемые алгоритмы оптимизации не позволяют найти максимум функции постериорной плотности $f(\boldsymbol{\theta}|\mathbf{Y})$ по параметрам;

Таблица 3 показывает, что два варианта модели целевого валютного курса *FFPT* и *FFTR* предпочтительны другим способам определить целевой валютный курс в правиле таргетирования. Оба правила схожи в принципах монетарной политики: (1) оба предполагают коррекцию валютного курса в сторону свободного плавания; (2) оба правила задают активную антиинфляционную политику ЦБ¹⁷. Более стабильные и робастные результаты получаются с помощью правила авторегрессии объема рефинансирования *ARRef*. Две комбинации правил таргетирования валютного курса к свободно плавающему совместно с авторегрессией объема рефинансирования далее рассматриваются как лучшие правила по критерию функции правдоподобия, и анализируются подробнее.

¹⁷ В обоих правилах *FFPT* и *FFTR* антиинфляционная компонента политики не оценивается, а постулируется. В правиле Тэйлора коэффициент k_π оценить не удастся, поэтому он зафиксирован на уровне $k_\pi = 0.5$, при этом коэффициент k_y оценивается.

Результаты оценки параметров модели с помощью алгоритма Метрополиса-Хастингса

Для того чтобы получить оценки математического ожидания и доверительных интервалов параметров модели, оценим две модификации модели с помощью алгоритма Метрополиса-Хастингса (МСМСМН¹⁸). Для получения робастных результатов, используем несколько наборов распределений priоров.

В каждом прогоне алгоритма рассчитываются две цепи по 50000 итераций. Это необходимо для проверки сходимости алгоритма: во всех тестах оценки параметров в двух цепях сходятся друг к другу и к константе, что свидетельствует об адекватности полученных оценок.

В таблице П1 (Приложение 1) приведены результаты расчетов параметров модели. Из таблицы следует, что большинство оценок параметров робастны к изменению монетарных правил и набора priоров, но некоторые параметры меняются довольно значительно при небольшом изменении предпосылок. Прежде всего, это касается параметров предпочтений домашних хозяйств: σ_c , σ_l , σ_m , h , $D(id)$.

Функция плотности монотонно возрастает с ростом коэффициента ϕ_z , поэтому в оценку данный коэффициент не включается, а его значение устанавливается на уровне $\phi_z = 100$, что означает очень большие издержки при отклонении интенсивности использования капитала от единицы. Таким образом эффект сглаживания динамики капитала за счет увеличения интенсивности его использования на российских данных не проявляется.

Коэффициенты χ , α_{SF} и k_{rp} при оценке уходили в отрицательную область, одновременно с чрезвычайно низкой кривизной¹⁹ функции постериорной плотности $f(\theta|Y)$ в точке оптимума, что означает очень низкие значения t-статистики для данных переменных. Таким образом, эффекты индексации на рынке товаров, фискальной стабилизации колебаний цен на нефть и эффект финансового рычага на премию за риск на российских данных практически не выявляются²⁰, и также были исключены при тестировании.

Функция постериорной плотности монотонно возрастает при росте коэффициент в правиле Тэйлора k_π , одновременно с этим снижается оценка коэффициента ψ_s . Первая производная $\frac{\partial f(\theta|Y)}{\partial k_\pi} \approx 0$, поэтому можно говорить, что данный коэффициент также не выявляется на данных, и далее установлен на уровне канонического правила Тэйлора $k_\pi = 0.5$.

Эластичность замещения отечественных товаров импортными субститутами стабильно попадает в интервал $\kappa \in (2.2, 2.5)$ и строго больше единицы. Это приводит к тому, что укрепление рубля в результате положительного нефтяного шока оказывает более сильный негативный эффект на отечественное производство, чем рост объема потребления, возникающий в результате того же шока. Данный вывод противоречит

¹⁸ Markov Chain Monte-Carlo Metropolis-Hastings algorithm

¹⁹ Малым по модулю значением второй производной по параметру.

²⁰ Данный вывод справедлив только в рамках выбранной спецификации модели.

распространенному мнению о том, что экономический цикл России в 2000-х обусловлен динамикой цен на нефть. Суммарный эффект нефтяных шоков на объем производства получился не просто небольшим, но и отрицательным.

Расчеты параметра θ в модели Кальво показывают, что оцененная вероятность коррекции цены в текущем квартале очень велика $1 - \theta \approx 0.85$. Данная величина выше, чем у зарубежных авторов, в работе которых $1 - \theta \approx 0.25$. Таким образом кейнсианский эффект влияния номинального спроса на реальные величины через жесткость цен сильно ослаблен.

Оцененный коэффициент коррекции валютного курса к целевому уровню составляет $\psi_s \approx \frac{1}{3}$ за квартал.

Функции импульсного отклика

На основе оцененных моделей, рассчитаем функции импульсного отклика (IRF) на основные шоки: цен на нефть, производительности, зарубежной ставки и валютного курса.

На рисунке 1 показана реакция экономики на положительный нефтяной шок η_t^{Poil} ²¹

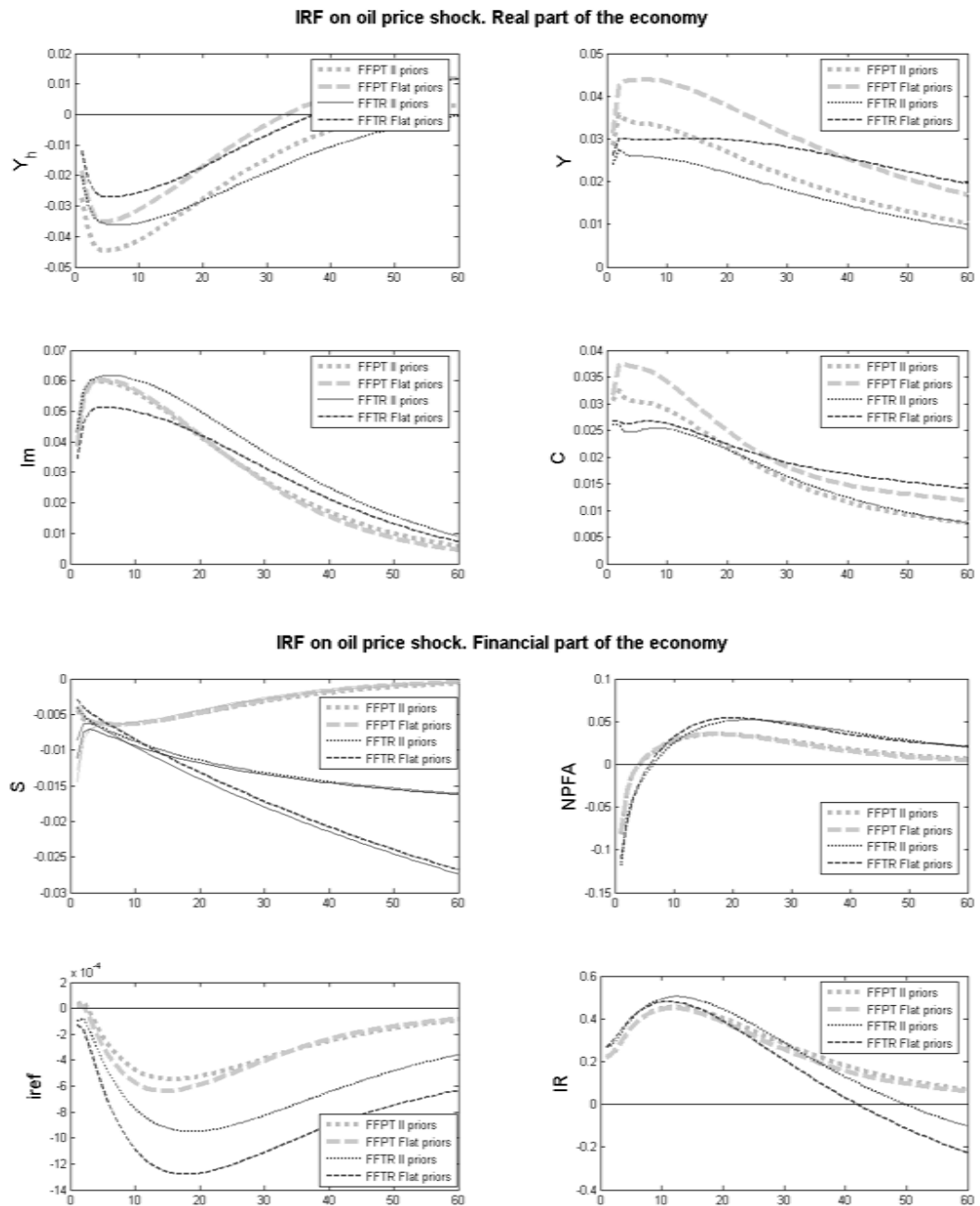


Рисунок 1. IRF экономической системы в ответ на шок цен на нефть η_t^{Poil} .

²¹ Величина шока соответствует одной стандартной ошибке $\sigma(\eta_t^{Poil})$.

Так как рост поступлений от экспорта нефти создают положительный эффект дохода, в экономике растет потребление, импорт, объем производства конечных благ. Сглаживающий динамику валютного курса ЦБ будет пополнять международные резервы, сдерживая процесс укрепления отечественной валюты. Возникнет дефляция, для преодоления которой необходима будет стимулирующая денежно-кредитная политика, направленная на снижение процентных ставок.

На рисунке 2 изображена реакция экономической системы на положительный шок производительности.

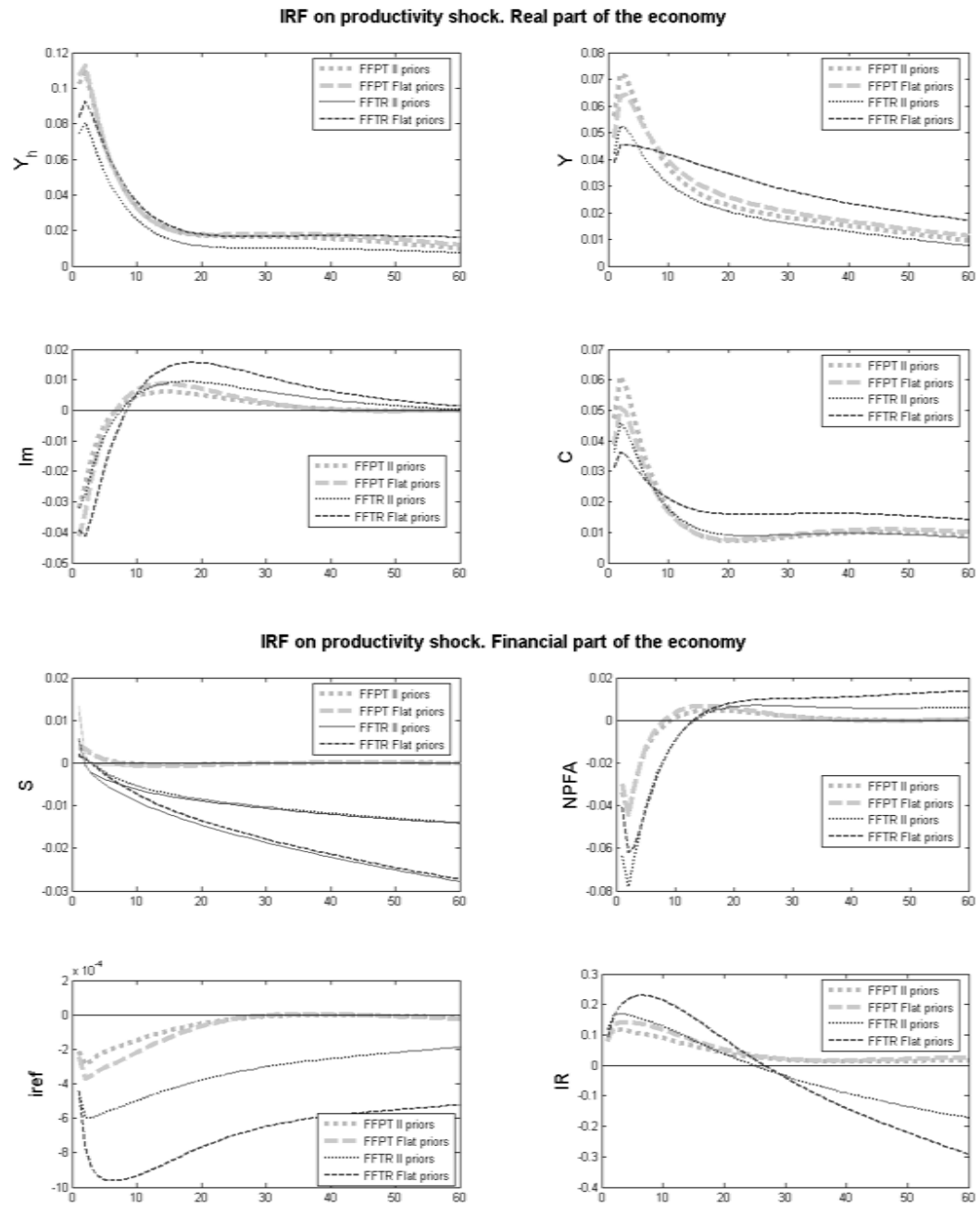


Рисунок 2. IRF экономической системы в ответ на шок производительности η_t^a

На рисунке 3 изображена реакция экономической системы на положительный шок зарубежной доходности. Возникает хорошо изученный горб в динамике ВВП и потребления, имеющий сходную со стандартными RBC моделями природу.

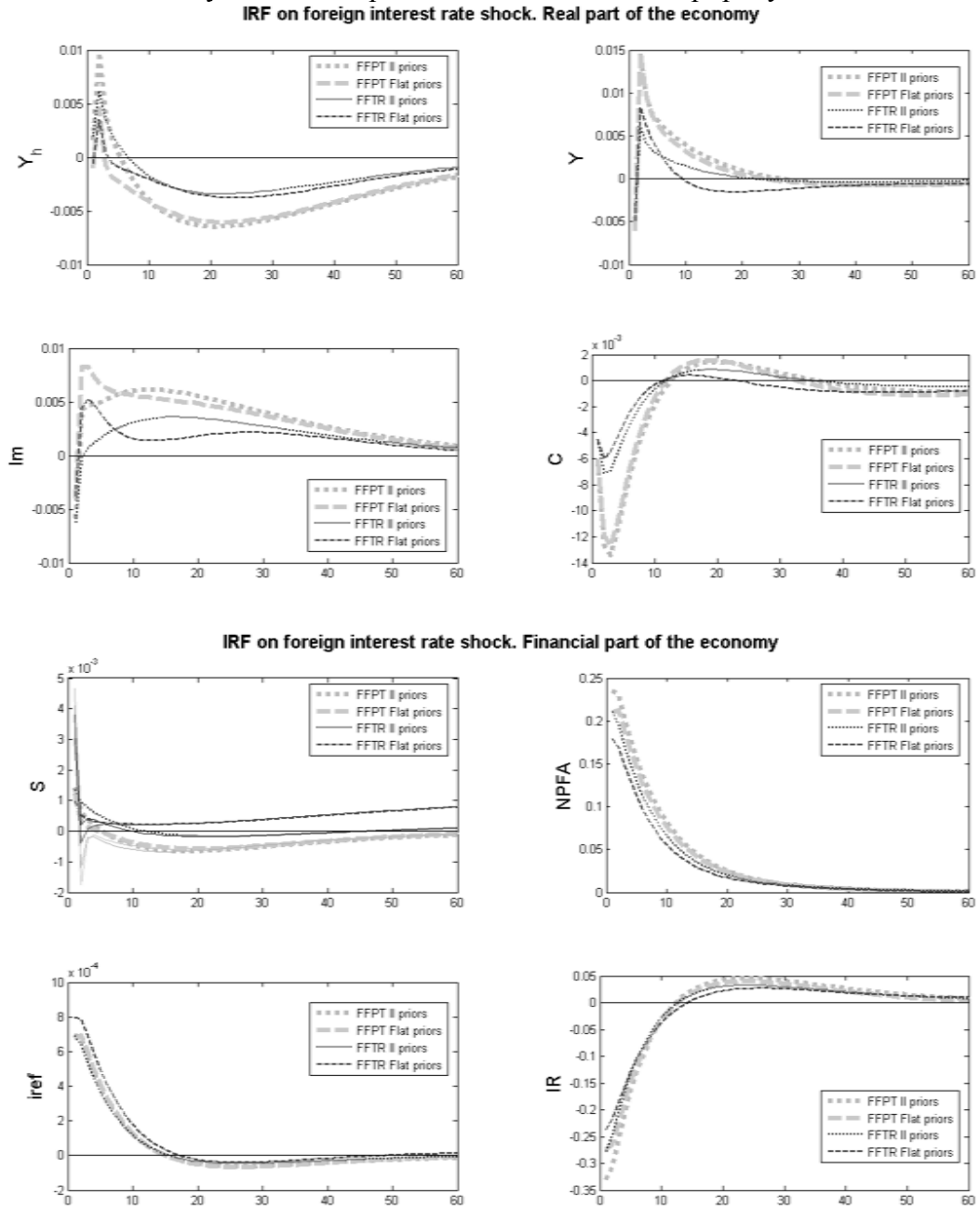


Рисунок 3. IRF экономической системы в ответ на шок зарубежной ставки процента $\eta_t^{i^*}$

Рост зарубежной ставки оказывает в целом негативный эффект на отечественную экономику: снижается объем производства, потребление, теряются международные резервы. В случае плавающего валютного курса происходит краткосрочная девальвация, которая сглаживается в промежуточном режиме валютного курса.

На рисунке 4 изображена реакция экономической системы на положительный шок валютного курса.

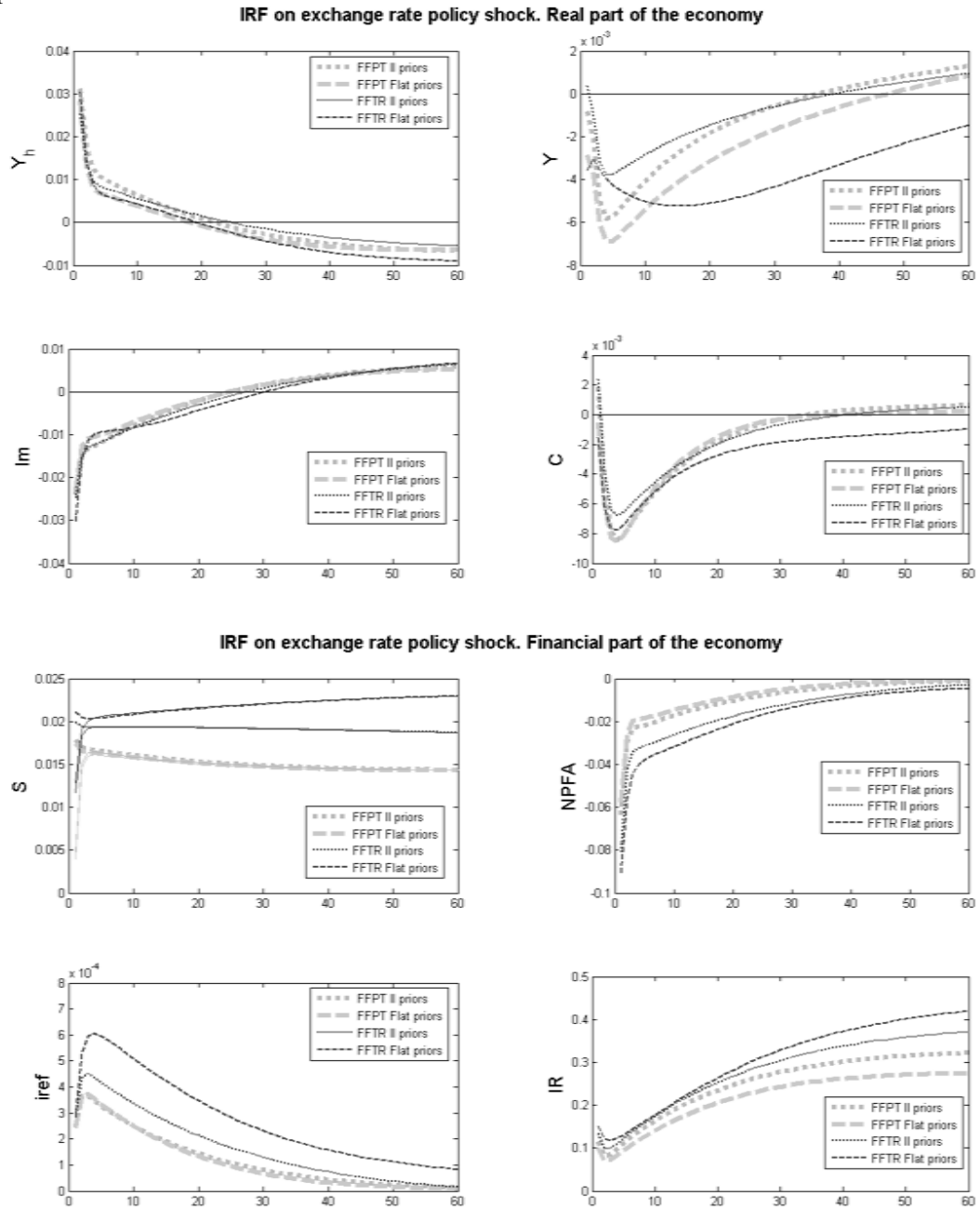


Рисунок 4. IRF экономической системы в ответ на шок валютной политики η_t^S .

Видно, что ослабление отечественной валюты $\eta_t^S > 0$ приводит к стимуляции отечественного производства и дестимуляции импорта. Возникает персистентный эффект роста международных резервов, что положительно сказывается на устойчивости валютного режима, однако в результате снижается потребление и растет ставка процента.

Экономика целевого валютного курса

Режим свободного плавания является целевым для текущего промежуточного режима валютного курса. Исследуем свойства данного режима для экономики России 2001-2012 гг.

На рисунках 5 и 6 изображены валютный курс и ВВП для целевой экономики, расчеты которой базируются на двух оцененных выше модификациях модели (*FFPT* и *FFTR*), рассчитанных для двух наборов priors (II priors и Flat priors).

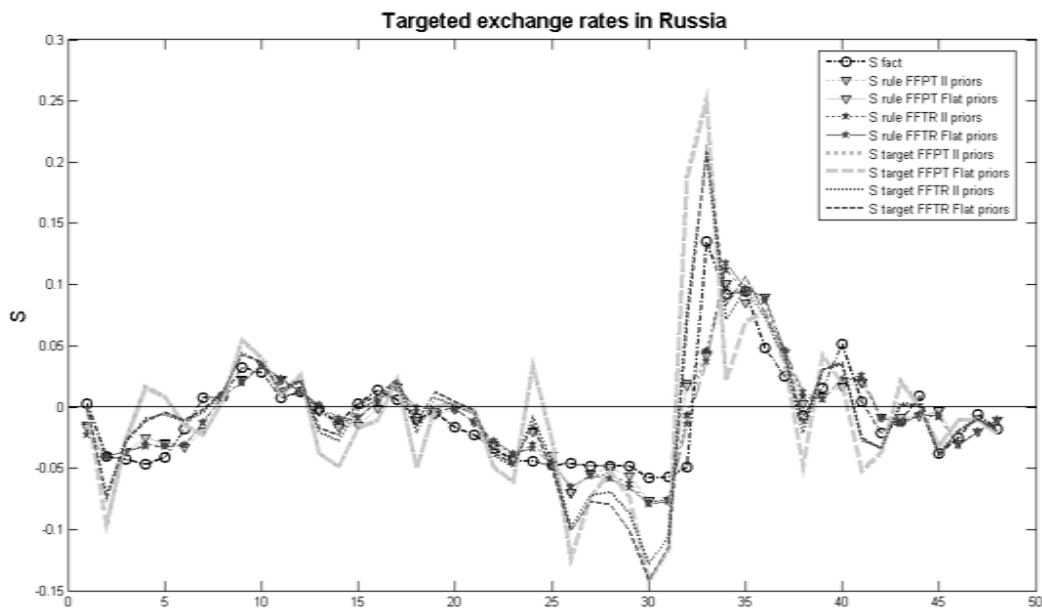


Рисунок 5. Целевой валютный курс для России 2001-2012. Значения приведены в процентах отклонения от тренда.

Обозначения: *S fact* – фактическое отклонение валютного курса от тренда; *S rule* – валютный курс (в отклонениях от тренда), соответствующий правилу валютной политики; *S target* – целевой валютный курс (в отклонениях от тренда);

Расчеты для предкризисного и кризисного периодов показывают, что до кризиса целевой курс рубля был на 5-10% выше, чем фактический курс ЦБ. А в период кризиса ЦБ уже сдерживал валютный курс от ослабления: потенциал ослабления также составлял 5-10%. В четвертом квартале 2008 года скачок курса мог бы быть значительным (до 25%), если бы не ЦБ, который потратил значительный запас резервов на защиту курса от ослабления. Данная защита означает, что в этот период ЦБ осуществлял дискреционную валютную политику, направленную на предотвращение скачка валютного курса. Однако уже в следующий период фактический валютный курс превышал курс по правилу, что означает дискреционная политика была направлена уже на сохранение валютных резервов, что потребовало более значительной, чем обычно девальвации рубля.

ВВП, соответствующий экономике целевого курса также соответствует сделанным предпосылкам: до кризиса ЦБ корректировал валютный курс в направлении, в котором разрыв ВВП был меньше фактического. Это иллюстрация контрцикличности политики правил ЦБ, которая в других элементах политики проявляется не очень отчетливо. Согласно расчетам лишь в течение двух кварталов 2009 года в целевой экономике разрыв ВВП значительно превышал фактический, то есть монетарная политика ЦБ была нацелена

на стимуляцию экономики. Далее контрциклическость политики ЦБ проявляется не так рельефно.



Рисунок 6. ВВП для экономики целевого валютного курса для России 2001-2012. Значения приведены в процентах отклонения от тренда. Обозначения: GDP fact – фактическое отклонение ВВП от тренда; GDP target – разрыв ВВП, соответствующий экономики, в которой формируется целевой валютный курс;

Заключение

В проведенном исследовании была разработана и оценена модель малой открытой экономики с экзогенными доходами от экспорта нефти, портфельным выбором и промежуточным режимом валютного курса. Различные модификации данной модели были оценены с помощью байесовской методологии на основе макроэкономической статистики России за 2001-2012 гг.

Эконометрическое тестирование показывает, что наилучшей комбинацией правил монетарной политики является правило таргетирования валютного курса в комбинации с авторегрессией первого порядка объема рефинансирования. При этом операционными целями ЦБ являются курс иностранной валюты и объем рефинансирования. Наилучшая модель целевого валютного курса предполагает, что ЦБ отпускает валютный курс в свободное плавание и осуществляет контрциклическую монетарную политику, которая может задаваться двумя способами: правилом Тэйлора и правилом таргетирования уровня цен.

В оцененной модели статистически значимыми оказались эффект привычек в потреблении, эффект издержек изменения объема инвестиций, параметр ценообразования по Кальво. Незначимыми оказались эффект индексации цен, эффект финансового рычага на премию за риск, эффект фискальной стабилизации нефтяных шоков, эффект увеличения интенсивности использования капитала. Оцененная эластичность замещения отечественных товаров импортными оказалась выше единицы, что обусловило негативную реакцию объема производства отечественных товаров на положительный

нефтяной шок. Итоговый вклад нефтяных шоков в динамику ВВП России очень мал: основной вклад в дисперсию ВВП вносят шоки производительности и шоки внешней конкурентоспособности.

Литература

1. Azevedo-Filho A., Shachter R.D. (1994) "Laplace's method approximations for probabilistic inference in belief networks with continuous variables", in *Uncertainty in Artificial Intelligence*, San Francisco.
2. Bernanke B.S., Gertler M., Gilchrist S. (1999) "The financial accelerator in a quantitative business cycle framework", in *Handbook of Macroeconomics*, vol. 1.
3. Calvo G. A., (1983). "Staggered prices in a utility-maximizing framework," *Journal of Monetary Economics*, Elsevier, vol. 12(3), pp. 383-398, September.
4. Christiano L.J., Eichenbaum M., Evans C., (2005) "Nominal rigidities and the dynamic effects of a shock to monetary policy," *Journal of Political Economy*, vol. 113, pp.1-45.
5. Fernandez-Villaverde J., Rubio-Ramirez J.F. (2004) "Comparing dynamic equilibrium models to data: a Bayesian approach. *Journal of Econometrics*, 123, pp. 153-187.
6. Geweke, J. (1999), "Using simulation methods for bayesian econometric models: inference, development and communication", *Econometric Reviews* Vol. 18 (1).
7. Jeffreys H. (1946) "An invariant form for the prior probability in estimation problems" *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 1986 (1007), pp. 453-461.
8. Rodriguez C., *Managed Float: An Evaluation of Alternative Rules in the Presence of Speculative Capital Flows*, *American Economic Review*, 1981.
9. Smets F., Wouters R., (2003). "An Estimated Dynamic Stochastic General Equilibrium Model of the Euro Area," *Journal of the European Economic Association*, MIT Press, vol. 1(5), pp. 1123-1175.

Приложение 1. Результаты оценки модификаций модели с помощью MCMCMH алгоритма

Parameter		Flat Prior set						II Prior set					
		Prior distribution		FFPT+ARRef		FFTR+ARRef		Prior distribution		FFPT+ARRef		FFTR+ARRef	
		Dist type	Mean (st.err.)	Mode [t-stat]	Posterior mean {2.5%÷97.5%}	Mode [t-stat]	Posterior mean {2.5%÷97.5%}	Dist type	Mean (st.err.)	Mode [t-stat]	Posterior mean {2.5%÷97.5%}	Mode [t-stat]	Posterior mean {2.5%÷97.5%}
1	$\sigma(\eta_t^a)$	invG	0.02 (∞)	0.0143 [0.0018]	0.0155 {0.0116÷0.0191}	0.0144 [0.0020]	0.0155 {0.0117÷0.0191}	invG	0.02 (∞)	0.0145 [0.0018]	0.0154 {0.0124÷0.0186}	0.0146 [0.0018]	0.0152 {0.0118÷0.0185}
2	$\sigma(\eta_t^b)$	invG	0.04 (∞)	0.0396 [0.0078]	0.0467 {0.0281÷0.0640}	0.0586 [0.0118]	0.0669 {0.0487÷0.0858}	invG	0.04 (∞)	0.0375 [0.0070]	0.0422 {0.0301÷0.0547}	0.0444 [0.0080]	0.0493 {0.0341÷0.0636}
3	$\sigma(\eta_t^l)$	invG	0.03 (∞)	0.0279 [0.0102]	0.0899 {0.0418÷0.1412}	0.1067 [0.0628]	0.1229 {0.0573÷0.1856}	invG	0.03 (∞)	0.0291 [0.0063]	0.0331 {0.0222÷0.0444}	0.0295 [0.0064]	0.0330 {0.0220÷0.0436}
4	$\sigma(\eta_t^m)$	invG	0.15 (∞)	0.1281 [0.0149]	0.1305 {0.1058÷0.1563}	0.1529 [0.0212]	0.1571 {0.1269÷0.190}	invG	0.15 (∞)	0.1203 [0.0129]	0.1245 {0.1023÷0.1463}	0.1251 [0.0136]	0.1304 {0.1077÷0.1552}
6	$\sigma(\eta_t^r)$	invG	0.15 (∞)	0.1161 [0.0631]	0.1464 {0.0680÷0.2128}	0.1456 [0.0715]	0.1181 {0.0579÷0.1733}	invG	0.15 (∞)	0.1470 [0.0721]	0.1659 {0.0621÷0.2838}	0.1077 [0.0487]	0.1249 {0.0480÷0.2063}
7	$\sigma(\eta_t^l)$	invG	0.1 (∞)	0.1075 [0.0207]	0.1094 {0.0751÷0.1460}	0.1167 [0.0196]	0.1208 {0.0891÷0.1529}	invG	0.1 (∞)	0.1055 [0.0202]	0.1090 {0.0780÷0.1400}	0.1097 [0.0199]	0.1147 {0.0841÷0.1458}
8	$\sigma(\eta_t^{rp})$	invG	0.002 (∞)	0.0016 [0.0002]	0.0016 {0.0014÷0.0019}	0.0016 [0.0002]	0.0016 {0.0014÷0.0019}	invG	0.002 (∞)	0.0016 [0.0002]	0.0016 {0.0014÷0.0019}	0.0016 [0.0002]	0.0016 {0.0014÷0.0019}
9	$\sigma(\eta_t^{i*})$	invG	0.006 (∞)	0.0059 [0.0014]	0.0070 {0.0045÷0.0096}	0.0033 [0.0007]	0.0037 {0.0024÷0.0049}	invG	0.006 (∞)	0.0060 [0.0014]	0.0070 {0.0044÷0.0097}	0.0033 [0.0007]	0.0040 {0.0024÷0.0055}
10	$\sigma(\eta_t^{p*})$	invG	0.08 (∞)	0.0732 [0.0085]	0.0737 {0.0602÷0.0862}	0.0693 [0.0076]	0.0713 {0.0602÷0.0862}	invG	0.08 (∞)	0.0737 [0.0084]	0.0766 {0.0623÷0.0899}	0.0733 [0.0084]	0.0761 {0.0608÷0.0911}
11	$\sigma(\eta_t^{Poil})$	invG	0.15 (∞)	0.1480 [0.0262]	0.1518 {0.1238÷0.1752}	0.1477 [0.0150]	0.1501 {0.1261÷0.1736}	invG	0.15 (∞)	0.1484 [0.0151]	0.1521 {0.1259÷0.1795}	0.1492 [0.0151]	0.1526 {0.1266÷0.1783}
12	$\sigma(\eta_t^S)$	unif	- (-)	0.0159 [0.0025]	0.0163 {0.0125÷0.0202}	0.0156 [0.0028]	0.0169 {0.0119÷0.0220}	unif	- (-)	0.0155 [0.0024]	0.0164 {0.0123÷0.0206}	0.0146 [0.0026]	0.0158 {0.0110÷0.0205}
13	$\sigma(\eta_t^{Ref})$	unif	- (-)	0.2285 [0.0262]	0.2342 {0.1933÷0.2772}	0.2314 [0.0270]	0.2463 {0.1937÷0.2923}	unif	- (-)	0.2262 [0.0254]	0.2381 {0.1916÷0.2865}	0.2310 [0.0269]	0.2418 {0.1954÷0.2890}
14	ρ_a	beta	0.85 (0.05)	0.876 [0.050]	0.853 {0.778÷0.934}	0.919 [0.036]	0.892 {0.824÷0.957}	beta	0.85 (0.05)	0.859 [0.0494]	0.849 {0.774÷0.921}	0.876 [0.045]	0.866 {0.798÷0.935}
15	ρ_b	beta	0.85 (0.05)	0.872 [0.041]	0.847 {0.775÷0.915}	0.866 [0.041]	0.857 {0.791÷0.920}	beta	0.85 (0.05)	0.862 [0.0439]	0.854 {0.787÷0.923}	0.881 [0.038]	0.872 {0.809÷0.936}

	Parameter	Dist type	Mean (st.err.)	Mode [t-stat]	Posterior mean {2.5%÷97.5%}	Mode [t-stat]	Posterior mean {2.5%÷97.5%}	Dist type	Mean (st.err.)	Mode [t-stat]	Posterior mean {2.5%÷97.5%}	Mode [t-stat]	Posterior mean {2.5%÷97.5%}
16	ρ_l	beta	0.85 (0.05)	0.875 [0.039]	0.860 {0.799÷0.927}	0.888 [0.038]	0.880 {0.817÷0.941}	beta	0.85 (0.05)	0.869 [0.0395]	0.860 {0.796÷0.926}	0.871 [0.039]	0.863 {0.797÷0.927}
17	ρ_m	beta	0.85 (0.05)	0.916 [0.034]	0.915 {0.861÷0.972}	0.930 [0.037]	0.913 {0.857÷0.971}	beta	0.85 (0.05)	0.922 [0.0323]	0.911 {0.858÷0.967}	0.917 [0.037]	0.901 {0.843÷0.963}
18	ρ_T	beta	0.85 (0.05)	0.871 [0.037]	0.865 {0.807÷0.923}	0.841 [0.043]	0.832 {0.764÷0.898}	beta	0.85 (0.05)	0.874 [0.0377]	0.859 {0.801÷0.921}	0.852 [0.040]	0.839 {0.776÷0.910}
19	ρ_l	beta	0.85 (0.05)	0.854 [0.047]	0.835 {0.755÷0.915}	0.860 [0.047]	0.840 {0.762÷0.913}	beta	0.85 (0.05)	0.851 [0.0471]	0.844 {0.777÷0.915}	0.831 [0.045]	0.821 {0.749÷0.900}
20	ρ_{rp}	beta	0.85 (0.05)	0.847 [0.047]	0.838 {0.764÷0.912}	0.848 [0.047]	0.838 {0.772÷0.926}	beta	0.85 (0.05)	0.847 [0.0466]	0.844 {0.773÷0.913}	0.848 [0.047]	0.842 {0.768÷0.917}
21	ρ_{i^*}	beta	0.85 (0.05)	0.896 [0.041]	0.872 {0.804÷0.943}	0.866 [0.049]	0.854 {0.784÷0.933}	beta	0.85 (0.05)	0.886 [0.0410]	0.870 {0.807÷0.938}	0.874 [0.046]	0.862 {0.791÷0.935}
22	ρ_{p^*}	beta	0.85 (0.05)	0.947 [0.027]	0.933 {0.889÷0.981}	0.934 [0.027]	0.923 {0.877÷0.968}	beta	0.85 (0.05)	0.956 [0.0228]	0.933 {0.884÷0.981}	0.967 [0.016]	0.951 {0.918÷0.986}
23	ρ_{Poil}	beta	0.85 (0.05)	0.900 [0.029]	0.900 {0.849÷0.948}	0.895 [0.032]	0.891 {0.839÷0.941}	beta	0.85 (0.05)	0.907 [0.0287]	0.901 {0.850÷0.946}	0.919 [0.026]	0.914 {0.872÷0.958}
24	ρ_{Ref}	unif	- (-)	0.877 [0.154]	0.860 {0.736÷0.999}	0.856 [0.123]	0.840 {0.712÷0.999}	unif	- (-)	0.874 [0.1445]	0.852 {0.719÷0.999}	0.866 [0.149]	0.853 {0.724÷1.000}
25	α	unif	- (-)	0.480 [0.061]	0.484 {0.429÷0.548}	0.531 [0.047]	0.491 {0.434÷0.550}	unif	- (-)	0.465 [0.052]	0.462 {0.386÷0.538}	0.448 [0.058]	0.448 {0.364÷0.538}
26	h	unif	- (-)	0.024 [0.070]	0.393 {0.027÷0.688}	0.009 [0.032]	0.104 {0.000÷0.252}	norm	0.38 (0.19)	0.393 [0.120]	0.391 {0.200÷0.576}	0.297 [0.113]	0.288 {0.106÷0.486}
27	σ_c	unif	- (-)	1.121 [0.280]	1.096 {0.050÷1.943}	2.589 [0.735]	2.522 {1.494÷3.380}	norm	0.64 (0.32)	1.699 [0.178]	0.767 {0.487÷1.064}	0.870 [0.189]	0.926 {0.616÷1.230}
28	σ_l	unif	- (-)	1.235 [0.756]	5.746 {2.079÷9.275}	7.038 [4.813]	7.978 {3.565÷12.760}	norm	1.16 (0.58)	1.347 [0.438]	1.542 {0.806÷2.275}	1.354 [0.443]	1.517 {0.786÷2.218}
29	σ_m	unif	- (-)	1.874 [0.251]	1.686 {1.211÷2.159}	2.478 [0.348]	2.407 {1.937÷2.902}	norm	1.5 (0.75)	1.506 [0.184]	1.564 {1.293÷1.869}	1.713 [0.206]	1.764 {1.423÷2.061}
30	ϕ_K	unif	- (-)	1.499 [0.359]	1.559 {0.981÷2.191}	1.454 [0.356]	1.573 {1.003÷2.134}	norm	1.6 (0.8)	1.506 [0.341]	1.556 {1.020÷2.085}	1.525 [0.339]	1.596 {1.038÷2.099}
31	θ	unif	- (-)	0.136 [0.031]	0.152 {0.097÷0.213}	0.165 [0.035]	0.177 {0.116÷0.237}	norm	0.12 (0.06)	0.138 [0.028]	0.146 {0.094÷0.195}	0.149 [0.029]	0.153 {0.103÷0.203}
32	κ	unif	- (-)	2.292 [0.299]	2.521 {1.941÷3.052}	2.261 [0.373]	2.638 {2.048÷3.257}	norm	2.2 (1.1)	2.276 [0.273]	2.250 {1.824÷2.642}	2.330 [0.301]	2.352 {1.864÷2.868}

	Parameter	Dist type	Mean (st.err.)	Mode [t-stat]	Posterior mean {2.5%÷97.5%}	Mode [t-stat]	Posterior mean {2.5%÷97.5%}	Dist type	Mean (st.err.)	Mode [t-stat]	Posterior mean {2.5%÷97.5%}	Mode [t-stat]	Posterior mean {2.5%÷97.5%}
33	$D(id)$	unif	- (-)	0.0297 [0.0108]	0.0289 {0.0091÷0.0508}	0.0088 [0.0031]	0.0096 {0.0055÷0.0142}	unif	- (-)	0.0330 [0.0100]	0.0360 {0.0180÷0.0518}	0.0195 [0.0053]	0.0221 {0.0117÷0.0326}
34	ψ_S	unif	- (-)	0.304 [0.047]	0.304 {0.228÷0.389}	0.334 [0.060]	0.327 {0.237÷0.417}	unif	- (-)	0.309 [0.046]	0.304 {0.225÷0.380}	0.369 [0.055]	0.357 {0.262÷0.460}
35	k_y	unif	- (-)	- [-]	- [-]	0.838 [0.237]	0.891 {0.455÷1.319}	unif	- (-)	- [-]	- [-]	0.486 [0.162]	0.543 {0.159÷0.858}
36	k_π	unif	- (-)	0 [-]	0.5	0 [-]	0.5	unif	- (-)	0 [-]	0.5	0 [-]	0.5
37	ϕ_z	unif	- (-)	∞ [-]	100	0 [-]	100	unif	- (-)	∞ [-]	100	0 [-]	100
38	χ	unif	- (-)	0 [-]	0	0 [-]	0	unif	- (-)	0 [-]	0	0 [-]	0
39	α_{SF}	unif	- (-)	0 [-]	0	0 [-]	0	unif	- (-)	0 [-]	0	0 [-]	0
40	k_{rp}	unif	- (-)	0 [-]	0	0 [-]	0	unif	- (-)	0 [-]	0	0 [-]	0
$LA(f(\mathbf{Y}))$					1240.0		1246.5				1253.0		1252.0
$MHM(f(\mathbf{Y}))$					1242.7		1245.9				1252.4		1252.3

Таблица III. Результаты оценки параметров двух модификаций модели (FFPT+ARRef) и (FFTR+ARRef) на основе двух наборов priors Flat Prior set и II Prior set. Темным цветом выделены параметры, которые не оценивались с помощью MCMCMH алгоритма.

Prior distribution – свойства распределения priors параметров;

Dist type – тип распределения;

Mean (st.err.) – Среднее и стандартная ошибка priorного распределения;

Mode [t-stat] – мода и t-статистика постериорного распределения, вычисленная на основе Гессiana функции правдоподобия;

Posterior mean {2.5%÷97.5%} – постериорное среднее и 5%-ный доверительный интервал оцениваемых параметров;

invG – обратное Гамма-распределение; beta – Бета-распределение; unif – равномерное распределение; norm – нормальное распределение;

$LA(f(\mathbf{Y}))$ - аппроксимация Лапласа функции безусловной плотности $f(\mathbf{Y})$;

$MHM(f(\mathbf{Y}))$ - модифицированное гармоническое среднее, как аппроксимация функции безусловной плотности $f(\mathbf{Y})$;

