

О получении стохастических прогнозов в детерминированной модели банковской системы России¹

Радионов С.А.

В работе представлен метод получения прогнозов в стохастических терминах для моделей, сформулированных и оцененных в рамках детерминированного подхода. Предложенный метод является более простым с вычислительной точки зрения, чем применяемый в моделях динамического стохастического общего равновесия (DSGE). Метод состоит в оценке параметров модели в детерминированной парадигме и оценке вектора выборочных средних и матрицы ковариаций для приращений экзогенных переменных на внутривыборочном интервале. Далее на вневыборочном интервале, в соответствии с принципом Монте-Карло, траектории приращений экзогенных переменных рассматриваются как реализации многомерного нормального распределения с вектором средних и матрицей ковариаций, оцененными на внутривыборочном интервале. Для каждой реализации экзогенных переменных рассчитываются траектории эндогенных переменных, к которым становится возможным применение методов математической статистики – вычисление моментов, построение доверительных интервалов, проверка различных гипотез и т.д. Подход проиллюстрирован на модели банковской системы России, с высокой точностью воспроизводящей широкий набор показателей ее деятельности. Результатом явился ряд интересных вероятностных свойств полученных стохастических прогнозов, в том числе нарушение нормальности их распределения и нетривиальная динамика доверительных интервалов. Рассмотрено несколько сценариев динамики ключевой ставки и обменного курса, сходных с фактической динамикой этих показателей в начале 2022 г. Был сделан ряд выводов о влиянии шоков ключевой ставки и обменного курса на основные показатели банковской системы. В частности, найдены эффекты, которые не могли бы быть обнаружены в чисто детерминированной парадигме моделирования.

¹ Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 21-18-00482).

Радионов Станислав Андреевич – к.э.н., научный сотрудник Научно-исследовательского финансового института Министерства финансов Российской Федерации. E-mail: saradionov@edu.hse.ru

Статья поступила: 01.11.2022/Статья принята: 26.01.2023.

Ключевые слова: динамические модели; принцип оптимальности; модель банка; метод Монте-Карло.

DOI: 10.17323/1813-8691-2023-27-1-33-48

Для цитирования: Радионов С.А. О получении стохастических прогнозов в детерминированной модели банковской системы России. *Экономический журнал ВШЭ*. 2023; 27(1): 33–48.

For citation: Radionov S. On the Stochastic Forecasting in the Deterministic Model of the Russian Banking System. *HSE Economic Journal*. 2023; 27(1): 33–48. (In Russ.)

1. Введение

В работе приводится описание метода получения стохастических оценок в детерминированных макроэкономических моделях. Идея предложенного метода состоит в том, что, хотя на этапе оценки модели стохастика в явном виде не используется, на этапе прогнозирования приращения экзогенных переменных рассматриваются как реализации многомерного нормального распределения, вектор математических ожиданий и ковариационная матрица которого воспроизводят наблюдавшиеся на исторических данных статистические взаимосвязи. В соответствии с методом Монте-Карло проводится большое количество модельных симуляций с экзогенными переменными, представляющими собой реализации вышеописанного многомерного нормального распределения. К полученному большому числу траекторий эндогенных переменных можно применить стандартные инструменты математической статистики – расчет выборочного среднего, стандартного отклонения, построение доверительных интервалов. Тем самым становится возможным получение не только точечных прогнозов модельных переменных, но и мер их неопределенности, а также диапазонов, в которых они будут находиться с наперед заданной вероятностью.

Представляется, что предложенный метод является до некоторой степени альтернативным подходу динамических стохастических моделей общего равновесия (DSGE), которые основаны на описании в терминах случайных величин как модельных параметров, так и модельных переменных. По этой причине изложение в работе построено на сравнении предлагаемого метода с используемым в DSGE-моделях. В разделе 2 кратко описаны общие принципы, на которых строятся эти модели, роль стохастики в них, возникающие из-за ее введения возможности и технические трудности. В разделе 3 описана модель банковского сектора России. В разделе 4 рассматривается метод получения стохастических прогнозов в этой модели и представлены результаты. В заключении приведены выводы о сравнении рассматриваемого подхода с используемым в динамических стохастических моделях общего равновесия.

2. Динамические стохастические модели общего равновесия

Динамические стохастические модели общего равновесия (dynamic stochastic general equilibrium, DSGE) в последние годы являются одним из наиболее популярных инструментов макроэкономического моделирования. В рамках моделей этого класса эко-

номика описывается как результат взаимодействия небольшого числа макроэкономических агентов (домохозяйство, производитель, внешний мир и т.д.), либо решающих свои оптимизационные задачи при бюджетных, технологических и иных ограничениях, либо действующих в соответствии с предзаданными правилами. Модели этого класса хорошо зарекомендовали себя для описания развитых экономик (см.: [Smets, Wouters, 2003; 2007; Christiano et al., 2005]) и все чаще используются для развивающихся экономик, в том числе и для России (см., например: [Полбин, 2013; Иващенко, 2016; Крепцев, Селезнев, 2017]).

Важной чертой динамических стохастических моделей общего равновесия является описание экономики в терминах долгосрочного детерминированного стационарного состояния (steady state) и отклонений от него в результате действия случайных шоков. Введение в макроэкономическую модель случайности позволяет расширить ее возможности как для описания исторической динамики, так и для прогнозирования, однако существенно усложняет ее работу с моделью по сравнению с детерминированной версией. Так, работа с моделью класса DSGE требует приведения всех переменных к стационарному виду [Adjemian, 2011], а оценка параметров модели требует привлечения значительных вычислительных мощностей. Для дальнейшего изложения будет полезно более подробно остановиться на оценке параметров в DSGE-моделях. Подробное описание соответствующей техники можно найти в работе [Fernández-Villaverde, 2010], здесь же изложим общую идею наиболее популярного в настоящее время байесовского подхода к оценке параметров DSGE-моделей.

Параметр в DSGE-модели считается реализацией случайной величины, для которой из экономических соображений заданы априорное значение и априорное распределение. Обычно для параметров, которые должны принадлежать какому-либо отрезку, используется бета-распределение, для параметров, которые должны быть неотрицательны – гамма-распределение или обратное гамма-распределение, для параметров, которые могут быть любым действительным числом, – нормальное распределение. При заданном наборе параметров можно вычислить функцию правдоподобия – упрощая, вероятность того, что при данном наборе параметров модельные переменные будут соответствовать статистическим данным (специфика большинства DSGE-моделей требует использования на этом этапе фильтра Калмана). Классическая формула Байеса позволяет, имея априорное совместное распределение параметров и функцию правдоподобия, получить апостериорное распределение, т.е. по существу обновить представления о значениях параметров с учетом статистических данных. Далее с помощью какой-либо процедуры численной оптимизации находится мод апостериорной функции распределения, т.е. точка, обеспечивающая ее максимум. Полученный таким образом набор параметров уже можно использовать, однако для получения с помощью модели более надежных прогнозов часто проводится дополнительный этап, связанный с генерацией наборов параметров в окрестности мода функции апостериорного распределения с помощью метода Монте-Карло с марковскими цепями (Markov chain Monte Carlo, MCMC).

Вышеприведенное изложение имеет целью показать, что оценка параметров DSGE-модели представляет собой весьма нетривиальную задачу. В следующем разделе будет описана модель банковской системы России, логика построения которой во многом аналогична используемой при построении блоков DSGE-моделей. Одно из важных отличий состоит в том, что модель сформулирована в детерминированной парадигме, что позволяет получить оценки параметров намного более простым способом, чем для DSGE-моделей.

3. Модель банковской системы России

В модели, подробно рассмотренной в работах [Пильник и др., 2018; Pilnik et al., 2019], банковская система России описывается как единый макроэкономический агент, максимизирующий суммарный дисконтированный поток прибыли. В модель вводятся различные ограничения – балансовые, нормативные и т.д. Экзогенными величинами являются валютный курс, ключевая ставка, объем средств, предоставленных коммерческим банкам Банком России, дюрации кредитов и депозитов. В табл. 1 приведены эндогенные показатели модели. Среди них отдельно можно выделить переменную ρ , представляющую собой темп падения двойственной переменной к финансовому балансу агента и интерпретируемую как доходность его чистых активов. Оставшиеся показатели – это прямые модельные переменные, описывающие основные статьи банковского баланса. Переменная ρ является безразмерной, все рублевые показатели в модели имеют размерность триллионов рублей, все валютные – триллионов долларов.

Таблица 1.

Эндогенные переменные модели банковской системы России

Обозначение	Показатель
ρ	Доходность банковской системы
vVa	Объем вновь выданных кредитов фирм в иностранной валюте
Va	Объем вновь выданных кредитов фирм в рублях
vKa	Объем вновь привлеченных депозитов фирм в иностранной валюте
Ka	Объем вновь привлеченных депозитов фирм в рублях
vVh	Объем вновь привлеченных депозитов домохозяйств в иностранной валюте
Vh	Объем вновь привлеченных депозитов домохозяйств в рублях
vKh	Объем вновь выданных кредитов домохозяйств в иностранной валюте
Kh	Объем вновь выданных кредитов домохозяйств в рублях
La	Объем кредитов фирмам в рублях
Sa	Объем депозитов фирм в рублях
vLa	Объем кредитов фирмам в иностранной валюте
vSa	Объем депозитов фирм в иностранной валюте
Lh	Объем кредитов домохозяйств в рублях
Sh	Объем депозитов домохозяйств в рублях
vLh	Объем кредитов домохозяйств в иностранной валюте
vSh	Объем депозитов домохозяйств в иностранной валюте
A	Ликвидные активы банка в рублях
vQ	Ликвидные активы банка в иностранной валюте
Rc	Резервы банка в ЦБ

Прогнозы некоторых экзогенных переменных модели могут быть получены с помощью разработанной для этой цели эконометрической надстройки, описанной в статье [Пильник и др., 2019]. Ее входными данными являются ключевая ставка, курс доллара США к рублю, дюрации некоторых банковских инструментов, норма обязательного резервирования, остатки средств на расчетных счетах фирм и домашних хозяйств, депозиты нерезидентов. На основе этих показателей рассчитываются входящие в модель банковские ставки, дюрации оставшихся банковских инструментов, объем процентных средств, полученных от Банка России.

В работах [Пильник и др., 2018; Pilnik et al., 2019] показано, что предложенная модель демонстрирует высокое качество воспроизведения основных показателей банковской системы. В работах [Пильник и др., 2020; 2019] также показано, что модель позволяет анализировать эффекты изменения внешних параметров (по аналогии с широко используемыми в эконометрике и динамических стохастических моделях общего равновесия функциями импульсного отклика). В первой работе рассмотрены эффекты изменения ключевой ставки на основные параметры банковской системы, во второй – эффекты изменения валютного курса.

Одной из особенностей модели является применение нестандартного метода оценки параметров – функционал ошибки, минимизируемый путем подбора параметров модели, представляет собой сумму относительных отклонений модельных переменных от статистических значений на заданный временной интервал. В актуальной версии модели параметры модели оцениваются таким образом, чтобы максимизировать точность прогнозов на период до 6 месяцев.

4. Подход и результаты стохастического моделирования

Перейдем к описанию методики построения стохастических прогнозов в модели банковской системы России, которая, напомним, сформулирована в детерминированной парадигме. В качестве внутривыборочного рассматривается временной промежуток с начала 2008 г. до января 2022 г. (более поздние данные в требуемой детальной разбивке в настоящее время недоступны). На этом промежутке для первых разностей экзогенных переменных рассчитываются вектор выборочных средних и выборочная матрица ковариаций (переход к первым разностям осуществлен для обеспечения стационарности всех рассматриваемых переменных). Далее используется подход Монте-Карло – происходит генерация большого количества реализаций (в данной работе – 100000) многомерного нормального вектора первых разностей экзогенных переменных. В данной работе мы рассматриваем прогнозы на период в 12 месяцев, поэтому вышеописанная процедура применяется для каждой реализации 12 раз. К полученному большому числу реализаций эндогенных переменных можно применять методы математической статистики – рассчитывать средние и стандартные отклонения, проверять распределения на нормальность и т.д. Кроме того, представленный подход допускает проведение сценарного анализа в терминах условных распределений, т.е. рассмотрение прогнозов эндогенных переменных при каком-либо условии на реализацию экзогенных переменных. В данной работе мы рассматриваем пять сценариев.

Сценарий А – инерционная динамика модельных переменных. Изменения экзогенных переменных определяются оцененными на исторических данных вектором средних значений и ковариационной матрицей.

Сценарий В – рост ключевой ставки в первом периоде на 10,5 п.п. (в соответствии с фактической динамикой февраля 2022 г.) и ее возвращение к исходному уровню во втором периоде.

Сценарий С – рост ключевой ставки в первом периоде на 10,5 п.п. и ее линейное уменьшение в последующие периоды до исходного уровня за 12 периодов.

Сценарий D – рост валютного курса на 60 рублей за доллар США (аналогично фактической динамике февраля 2022 г.) и его возвращение к исходному уровню во втором периоде.

Сценарий E – рост валютного курса на 60 рублей за доллар США и его линейное уменьшение в последующие периоды до исходного уровня за 12 периодов.

На рис. 1 приведены примеры интервальных прогнозов модельных переменных в сценариях А и С. Обращает на себя внимание, что для разных переменных 80-процентные доверительные интервалы устроены существенно по-разному. Для части переменных со временем ширина доверительного интервала меняется крайне слабо, для других, наоборот, за 12 прогнозных месяцев увеличивается практически на порядок.

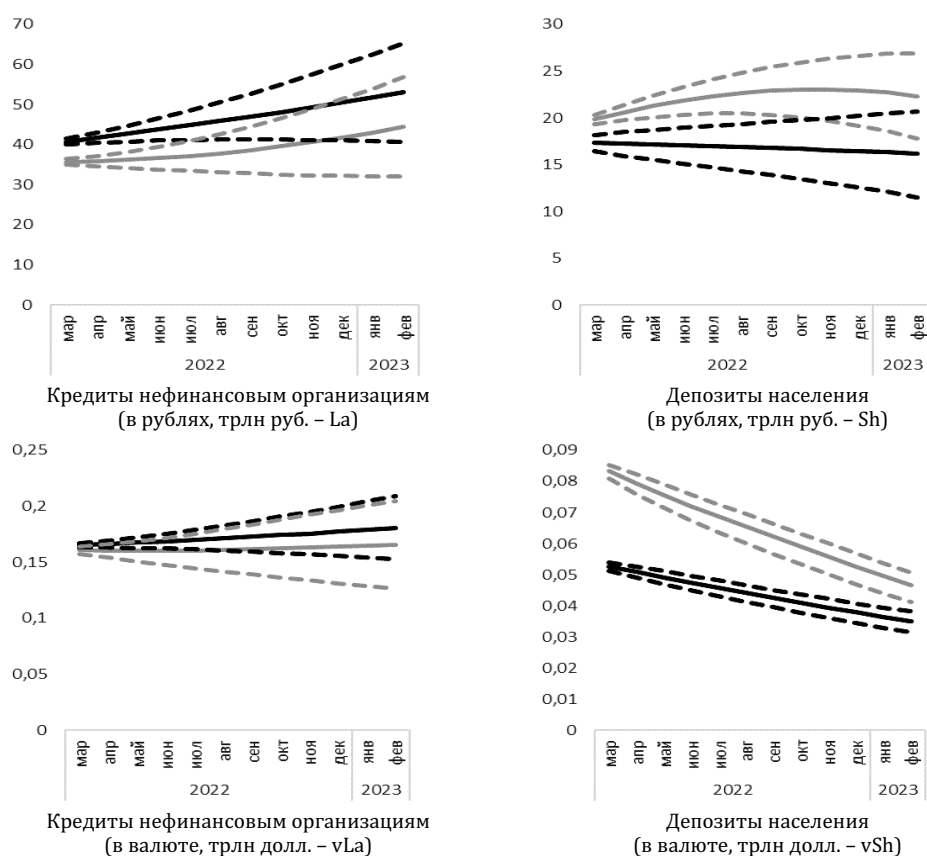


Рис. 1. Примеры доверительных интервалов для переменных модели (сплошная линия – медиана, пунктир – границы 80-процентного интервала, черные линии – сценарий А, серые линии – сценарий С)

В представленной далее табл. 2 приведены результаты тестирования на нормальность распределений прогноза каждого модельного показателя на горизонте 1, 3, 6, 12 месяцев с помощью теста Харке – Бера для базового сценария А (схожие результаты получаются в сценариях В и С, поэтому для них отдельная таблица не приводится) и сценария D (результаты для которого аналогичны сценарию Е). Как уже говорилось выше, в стандартных линейных или линеаризованных моделях распределение прогнозов эндогенных переменных является нормальным, что позволяет, например, легко строить доверительные интервалы для них. Для рассматриваемой модели, однако, в случае, когда нормальность предполагается только для экзогенных переменных, а эндогенные прогнозируются с помощью модели, имеющей более сложную структуру (фактически вместо линеаризации, которая представляется избыточной, используется техника смягчения условий дополняющей нежесткости), выводы о нормальности их распределений не подтверждаются статистическими тестами.

В табл. 2 почти половина всех значений p-value вынуждает отвергнуть нулевую гипотезу о нормальности распределения. Причем обращают на себя внимание два момента. Во-первых, в сценарии А (а также аналогично В и С) количество отвергнутых гипотез существенно больше, чем в сценарии D (и Е). На этот момент мы еще обратим внимание в дальнейшем, когда речь пойдет об интерпретации результатов. Во-вторых, чем больше горизонт прогнозирования, тем больше отвергнутых гипотез.

Таблица 2.

**Результаты тестирования нормальности распределений
эндогенных показателей (p-value) в зависимости от горизонта прогноза**

Показатели	Сценарий А				Сценарий D			
	месяц				месяц			
	1	3	6	12	1	3	6	12
vVa	0,00	0,00	0,00	0,00	0.65	0.27	0.78	0.61
Va	0.37	0.05	0,00	0,00	0.11	0,00	0,00	0,00
vKa	0,04	0,00	0,00	0,00	0.93	0.47	0.43	0,00
Ka	0.18	0.49	0.64	0,00	0.32	0.43	0.30	0,00
vVh	0,00	0,00	0,00	0,00	0.88	0.41	0.71	0.39
Vh	0,00	0,00	0,00	0,00	0.65	0.41	0.27	0,00
vKh	0.37	0,00	0,00	0,00	0.97	0.53	0.45	0,00
Kh	0,00	0,00	0,00	0,00	0.99	0.14	0.03	0,00
La	0.19	0.08	0.63	0,00	0.36	0.34	0.90	0,00
Sa	0.21	0.38	0.97	0,00	0,03	0.28	0.05	0,00
vLa	0,03	0,00	0,00	0,00	0.92	0.24	0.89	0.14
vSa	0,00	0,00	0,00	0,00	0.64	0.72	0.37	0,00
Lh	0,00	0,00	0,00	0,00	0.99	0.44	0,01	0,00
Sh	0,00	0,00	0,00	0,00	0.65	0.46	0.44	0,02
vLh	0.38	0,00	0,00	0,00	0.98	0.28	0.85	0,00
vSh	0,00	0,00	0,00	0,00	0.82	0.24	0,01	0.43
A	0.46	0.91	0.30	0,00	0.89	0.40	0.87	0.09
vQ	0,04	0.65	0,01	0,00	0.95	0.17	0.70	0,01
Rc	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00

Примечание: подчеркнуты значения, большие уровня значимости 5%.

Подробный анализ модельных и теоретических распределений показывает, что полученные результаты являются достаточно устойчивыми и не объясняются наличием выбросов, к которому может быть чувствителен используемый тест. Улавливаемые тестом отклонения связаны как со структурой хвостов, так и со скошенностью центральной части распределения. Как правило, основные расхождения возникают на уровне квантилей порядка 25 и 75% (поэтому, например, тест Колмогорова – Смирнова дает аналогичные результаты при тестировании нормальности).

Далее рассмотрим результаты анализа основных моментов модельных распределений для прогнозов основных переменных банковского баланса: кредитов нефинансовых организаций и депозитов физических лиц (в обоих случаях отдельно в рублях и отдельно в иностранной валюте). На следующей группе рисунков показано, как ведут себя медианы, стандартные отклонения, а также коэффициенты асимметрии и эксцесса.

На рис. 2 представлены основные характеристики распределения прогнозов кредитов нефинансовым организациям в национальной валюте.

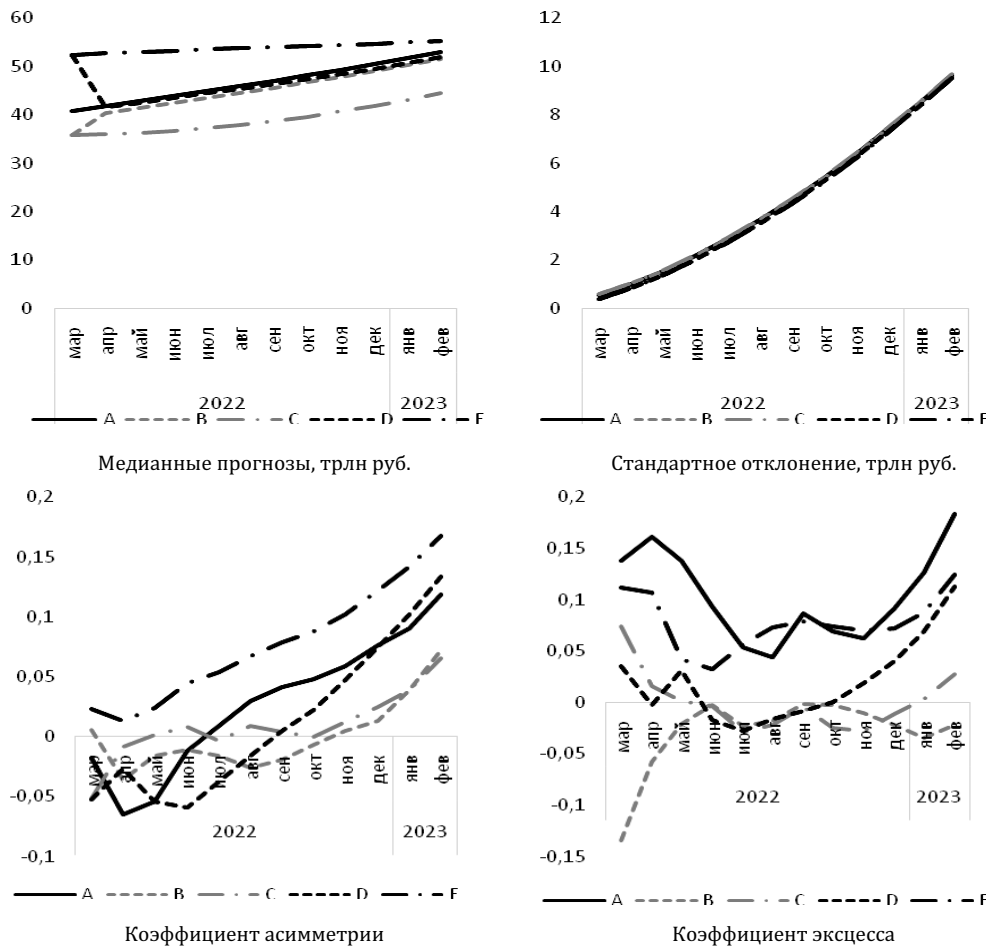


Рис. 2. Кредиты нефинансовым организациям, основные характеристики прогнозов

Как правило, анализ прогнозов ограничивается средними или медианными значениями, которые в данном случае ведут себя вполне логично. В инерционном сценарии (А) прогнозировался достаточно устойчивый рост в течение рассматриваемого года. В сценариях В и D, в которых предполагается наличие локального импульсного шока в марте 2022 г. на ставку и курс соответственно, наблюдается достаточно быстрое возвращение на траекторию роста, аналогичную сценарию А, хотя в обоих случаях шок не проходит незамеченным – объем выданных кредитов оказывается ниже, чем в инерционном сценарии. В сценарии Е, в котором шок курса затухает в течение года, отклонение объема выданных кредитов от базового сценария ведет себя аналогичным образом – можно видеть, что спустя год большая часть отклонения уже нивелируется. Иная ситуация наблюдается в сценарии С (затухающий шок ключевой ставки). В данном случае эффект оказывается существенно более долгосрочным.

Во всех сценариях наблюдается рост стандартного отклонения прогнозов, что вполне естественно для моделей такого типа. Обратим внимание только на то, что расхождение стандартного отклонения по всем сценариям минимально. Коэффициенты асимметрии и эксцесса во всех сценариях большую часть времени колеблются около нулевых значений, хотя для асимметрии в последние месяцы прогноза проявляется устойчивое смещение в сторону положительных значений. В целом, значения обоих коэффициентов достаточно малы, поэтому распределения прогнозов оказываются достаточно похожи на нормальные, а отклонения возникают только на второе полугодие.

На рис. 3, где изображены основные характеристики прогнозов депозитов населения в национальной валюте, можно видеть схожие эффекты для медианных значений показателя в разных сценариях. Здесь снова наблюдается резкое восстановление после шока в сценариях В и D, причем в обоих случаях происходит возвращение к более низким уровням, чем в инерционном сценарии А. В сценарии D наблюдается достаточно быстрое затухание после шока курса, а в сценарии С эффект оказывается снова существенно более долгосрочным.

В отличие от кредитов нефинансовых организаций, стандартные отклонения прогнозов для депозитов населения отличаются для разных сценариев. В сценариях D и Е, описывающих воздействие валютного курса, стандартное отклонение оказывается существенно меньше. При этом обратим внимание, что изначально все наши сценарии отличаются только динамикой математических ожиданий экзогенных переменных, но в рамках модели улавливается эффект и на моменты более высокого порядка.

Наиболее интересна в данном случае динамика коэффициента асимметрии. В инерционном сценарии А и в сценариях с шоком ставки (В и С) распределение депозитов населения имеет существенный левый хвост, величина которого постепенно снижается. Это, естественно, приводит к тому, что гипотезы о нормальности распределения отвергаются. В сценариях D и Е, описывающих эффекты шока курса, коэффициент асимметрии фактически колеблется около нуля.

При более подробном исследовании оказывается, что в случае шоков курса меньшего размера независимо от того, были эти шоки импульсными, как в сценарии D, или затухающими, как в сценарии Е, также наблюдается снижение коэффициентов асимметрии, но именно при заложенном уровне в 120 рублей за доллар коэффициенты асимметрии оказываются практически нулевыми. С учетом того, что уровень в 120 рублей за доллар был выбран на основе фактических данных, этот вывод представляется крайне инте-

ресным – курс рубля в сложившихся условиях февраля–марта 2022 г. изменился так, чтобы распределение переменных было наиболее близко к нормальному.

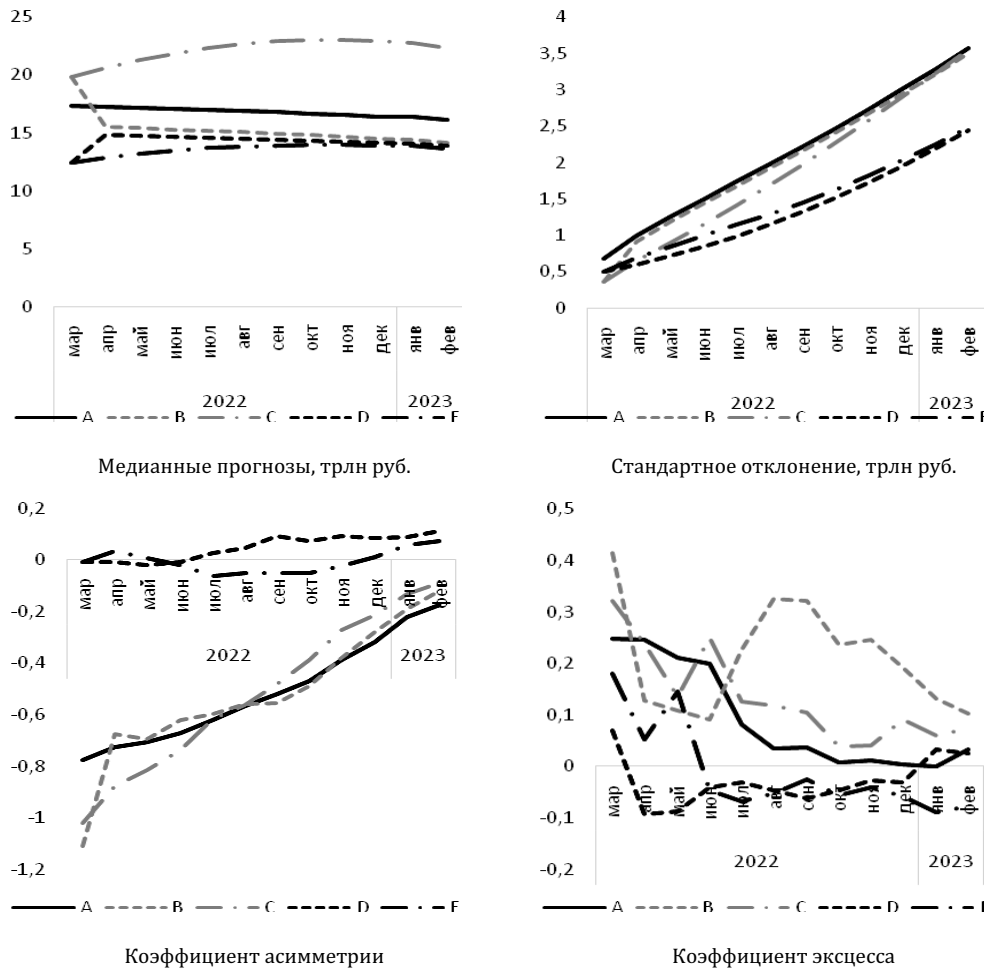


Рис. 3. Депозиты населения, основные характеристики прогнозов

Теперь посмотрим на то, как ведут себя валютные аналоги рассмотренных ранее переменных. На рис. 4 представлены основные характеристики распределения прогнозов кредитов нефинансовым организациям в иностранной валюте. В динамике медиан, в отличие от динамики рублевых переменных, нет устойчивого отклонения в сценарии С (при затухании шока ставки). Даже наоборот, можно сказать, что в данном случае наблюдается более быстрая сходимост, чем в сценарии Е при затухании шока курса. Стандартные отклонения ведут себя также по-другому. Для инерционного сценария А и сценариев с импульсными шоками В и D стандартные отклонения прогнозов практически совпадают.

А вот сценарии С и Е, описывающие эффекты затухающих шоков, характеризуются явно другими уровнями стандартных отклонений. Причем в случае сценария Е (шок курса) стандартное отклонение снова, как и для рублевых депозитов населения, оказывается меньше.

В коэффициентах асимметрии и эксцесса можно выделить три характерных паттерна. Во-первых, сценарии D и E снова дают значения этих коэффициентов, максимально похожие на нормальное распределение. Во-вторых, для остальных сценариев в данном случае от нормального распределения отклоняются оба момента, т.е. хвосты кроме асимметрии оказываются еще и существенно тяжелее нормальных аналогов. И, наконец, в-третьих, в сценариях В и С очень четко виден шок в характеристиках распределения валютных кредитов в течение марта – мая 2022 г.

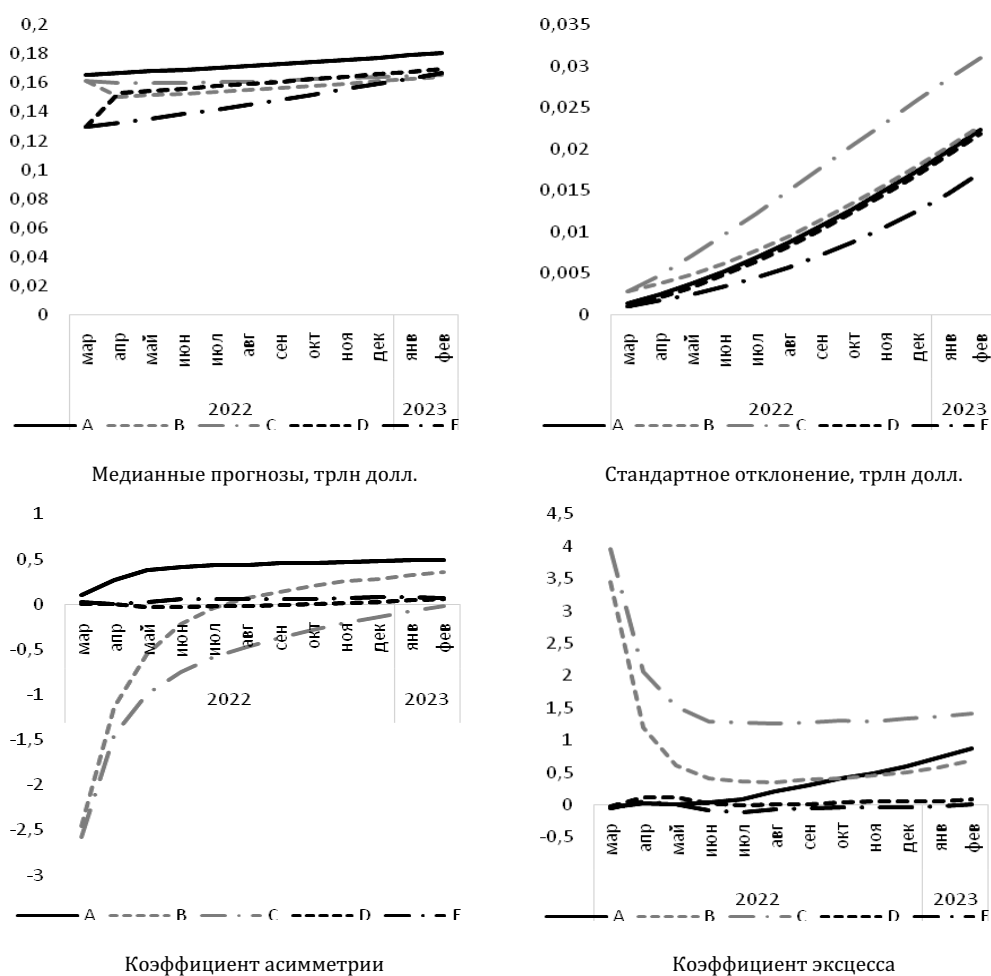


Рис. 4. Кредиты нефинансовым организациям (в валюте), основные характеристики прогнозов

На рис. 5, где изображены основные характеристики прогнозов депозитов населения в иностранной валюте, можно видеть существенно более сложную динамику медианных значений и стандартных отклонений, но в целом снова подтверждаются два уже сделанных ранее наблюдения. Во-первых, в сценариях D и E с шоком курса стандартное отклонение оказывается ниже, чем в других сценариях. Во-вторых, именно в этих сценариях (D, E) характеристики распределений третьего и четвертого порядка оказываются весьма близки к нормальному распределению. При этом заметим, что и для обеих рассмотренных переменных в иностранной валюте в инерционном сценарии A со временем отклонение от нормального распределения только возрастает.

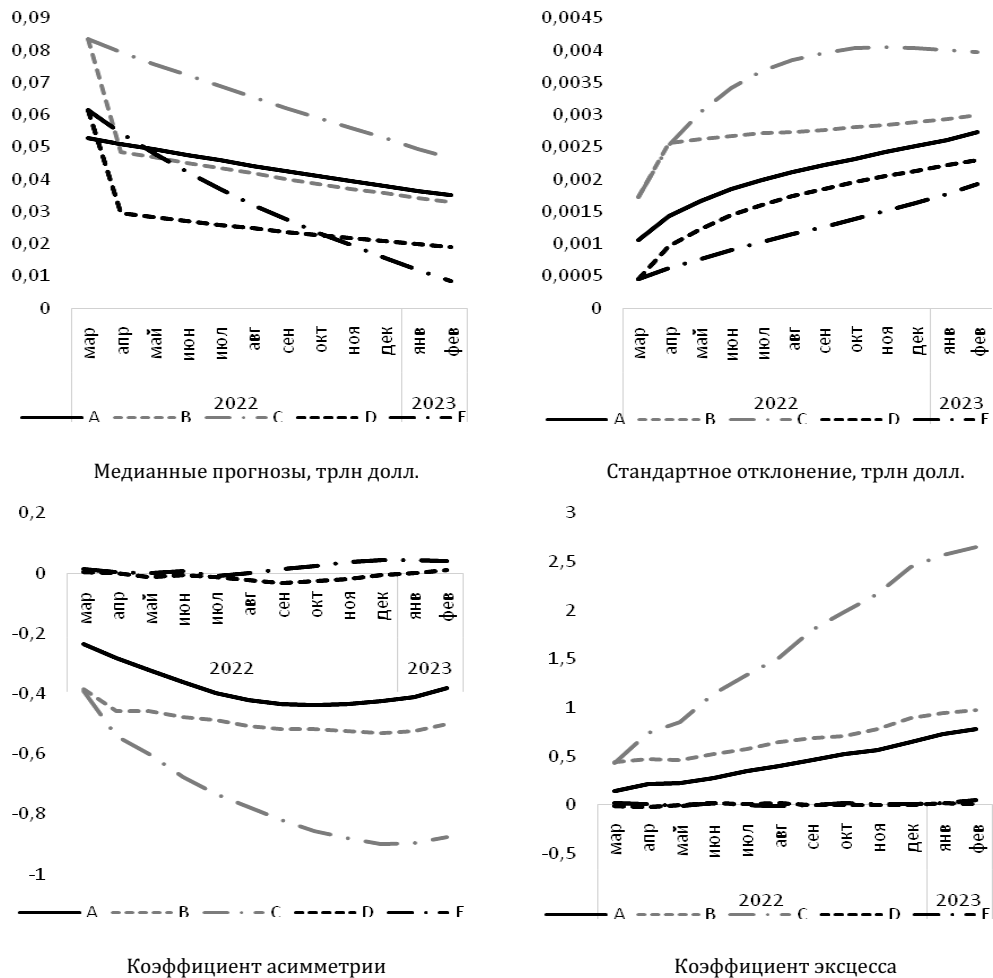


Рис. 5. Депозиты населения (в валюте), основные характеристики прогнозов

Приведенный анализ позволяет сделать ряд выводов о результатах использования предложенной методологии получения стохастических прогнозов в банковской системе России.

Во-первых, форма распределения прогнозов эндогенных переменных меняется в зависимости от траектории экзогенных переменных даже при условии нормальности последних. Вследствие нелинейности модели изменение математических ожиданий экзогенных переменных приводит к изменению моментов более высоких порядков для эндогенных переменных. В результате распределение эндогенных переменных во многих случаях отличается от нормального. В частности, наблюдается асимметрия распределений прогнозов и появление тяжелых хвостов.

Во-вторых, проведение сценарного анализа в парадигме стохастического прогнозирования позволяет сделать ряд выводов о современном функционировании банковской системы России и политике Центрального банка в первой половине 2022 г. Анализ медианных значений в пяти рассматриваемых сценариях показывает, что повышение ключевой ставки позволило компенсировать шок валютного курса, причем выбранное значение (повышение до 20%) достаточно точно компенсирует скачок курса до 120 рублей за доллар. При этом важную роль играет именно скорость реакции, поскольку, как показано выше, в отличие от затухающего шока курса (как в сценарии E) затухающий шок ставки (сценарий C) дает более долгосрочные эффекты на переменные баланса банковской системы. Таким образом, крайне важна скорость реакции не только на этапе повышения ставки, но и при последующем ее снижении.

Анализ распределений эндогенных переменных позволяет выявить другие отличия шоков курса и ключевой ставки, которые в течение февраля – мая 2022 г. компенсировали друг друга. Шок ключевой ставки дает существенный искажающий эффект на распределение переменных баланса банковской системы. В данном случае значения дисперсий прогнозов оказываются не меньше инерционного сценария. Более того, повышение ключевой ставки приводит к существенному искажению распределений переменных относительно нормального распределения, что проявляется, например, в появлении тяжелых несимметричных хвостов в распределении валютных переменных, причем для одних переменных этот эффект носит краткосрочный характер (например, валютные кредиты нефинансовым организациям), а для других – более долгосрочный (например, валютные депозиты населения). Эти эффекты можно интерпретировать как снижение предсказуемости функционирования банковской системы.

Шок курса (независимо от того, был ли он импульсный или затухающий – сценарии D и E) обладает компенсирующим эффектом – после него распределения основных переменных модели оказываются гораздо ближе к нормальным, чем даже в инерционном сценарии (сценарий A). Кроме того, для некоторых показателей дисперсии прогнозов в сценариях с шоком курса оказываются даже меньше, чем в инерционном сценарии. В этом смысле шок курса опасен скорее из-за неблагоприятной динамики средних значений, дающих связанный с переоценкой валютных переменных баланса банковской системы вторичный эффект.

5. Заключение

В статье рассмотрен метод построения стохастических прогнозов в детерминированных макроэкономических моделях. Этот метод оказывается более простым, чем ши-

роко применяемый в настоящее время в динамических стохастических моделях общего равновесия (DSGE), но также позволяет получать прогнозы макроэкономических показателей в вероятностных терминах – рассчитывать математические ожидания, стандартные отклонения, доверительные интервалы и т.д. Подход был применен к модели банковского сектора России и позволил получить ряд интересных свойств прогнозов – нарушение нормальности эндогенных переменных, нетривиальную динамику доверительных интервалов, а также сделать ряд выводов о реакции банковской системы России на шоки валютного курса и ключевой ставки.

* *

*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Иващенко С.М.* Многосекторная модель динамического стохастического общего экономического равновесия российской экономики // Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика. 2016. № 3. С. 176–202.
- Крепцев Д.А., Селезнев С.М.* DSGE-модель российской экономики с банковским сектором // Серия докладов об экономических исследованиях. 2017. № 27.
- Пильник Н.П., Радионов С.А., Языков А.А.* Модель оптимального поведения современной российской банковской системы // Экономический журнал ВШЭ. 2018. Т. 22. № 3. С. 418–447.
- Пильник Н.П., Никонов И.В., Елкина М.А., Радионов С.А.* Оценка эффектов шоков валютного рынка на показатели российской банковской системы // Банковское дело. 2019. № 12. С. 14–23.
- Полбин А.В.* Построение динамической стохастической модели общего равновесия для экономики с высокой зависимостью от экспорта нефти // Экономический журнал ВШЭ. 2013. Т. 17. № 2. С. 347–387.
- Adjemian S. et al.* Dynare: Reference Manual, Version 4, 2011.
- Christiano L.J., Eichenbaum M., Evans C.L.* Nominal Rigidities and the Dynamic Effects of a Shock to Monetary Policy // Journal of Political Economy. 2005. Vol. 113. № 1. P. 1–45.
- Fernández-Villaverde J.* The Econometrics of DSGE Models // SERIEs. 2010. Vol. 1. № 1. P. 3–49.
- Pilnik N., Radionov S., Yazykov A.* The Model of the Russian Banking System with Indicators Nominated in Rubles and in Foreign Currency. Optimization and Applications 9th International Conference, OPTIMA 2018, Petrovac, Montenegro, October 1–5, 2018, Revised Selected Papers. Communications in Computer and Information Science. Springer, 2019. P. 427–438.
- Pilnik N., Pospelov I., Radionov S.* On Limits of the Influence of the Bank of Russia Key Rate on Indicators of the Russian Banking System // Studies on Russian Economic Development. 2020. № 2. P. 229–237.
- Smets F., Wouters R.* An Estimated Dynamic Stochastic General Equilibrium Model of the Euro Area // Journal of the European Economic Association. 2003. Vol. 1. № 5. P. 1123–1175.
- Smets F., Wouters R.* Shocks and Frictions in US Business Cycles: A Bayesian DSGE Approach // The American Economic Review. 2007. Vol. 97. № 3. P. 586–606.

On the Stochastic Forecasting in the Deterministic Model of the Russian Banking System

Stanislav Radionov

Ministry of Finance of the Russian Federation,
9, Ilyinka str., Moscow, 109097, Russian Federation.
E-mail: saradionov@edu.hse.ru

In this article we propose the method of obtaining forecasts in stochastic terms for deterministic models. The proposed method is computationally simpler than the one used in dynamic stochastic general equilibrium (DSGE) models. The method is based on the estimation of parameters in the deterministic paradigm and the estimation of the vector of sample means and the covariance matrix for the increments of exogeneous variables on the in-sample period. For every realization of exogeneous variables, the trajectories of endogenous variables is calculated. The methods of mathematical statistics such as moments calculation, construction of confidence intervals, testing various hypotheses can be applied to them. The approach is illustrated on the model of the Russian banking system, which successfully reproduces the wide set of its indicators. Several interesting properties of the obtained stochastic forecasts were found, including the violation of their normality and the nontrivial dynamics of confidence intervals. Several scenarios of key rate and exchange rate resembling their actual dynamics in the beginning of the 2022. Several conclusions on the influence of key rate and exchange rate on the basic indicators of the banking systems are made. In particular, several effects are found which could not be discovered in the purely deterministic modelling paradigm.

Key words: dynamic models; optimality principle; bank model; Monte-Carlo method.

JEL Classification: C65.

* *
*

References

- Adjemian S. et al. (2011) *Dynare: Reference Manual*. Version 4.
Christiano L.J., Eichenbaum M., Evans C.L. (2005) Nominal Rigidities and the Dynamic Effects of a Shock to Monetary Policy. *Journal of Political Economy*, 113, 1, pp. 1–45.
Fernández-Villaverde J. (2010) The Econometrics of DSGE Models. *SERIEs*, 1, 1, pp. 3–49.

- Ivashchenko S.M. (2016) Multi-Sector Model of Dynamic Stochastic General Equilibrium of the Russian Economy. *Bulletin of St. Petersburg University. Economy*, 3, pp. 176–202.
- Kreptsev D.A., Seleznev S.M. (2017) DSGE-Model of the Russian Economy with the Banking Sector. *Economic Research Report Series*, no 27.
- Pilnik N., Radionov S., Yazykov A. (2018) Model of Optimal Behavior of the Modern Russian Banking System. *HSE Economic Journal*, 22, 3, pp. 418–447.
- Pilnik N., Radionov S., Yazykov A. (2018) The Model of the Russian Banking System with Indicators Nominated in Rubles and in Foreign Currency. *Optimization and Applications 9th International Conference, OPTIMA 2018*, Petrovac, Montenegro, October 1–5, Revised Selected Papers. Communications in Computer and Information Science. Springer, 2019, pp. 427–438.
- Pilnik N., Pospelov I., Radionov S. (2020) On Limits of the Influence of the Bank of Russia Key Rate on Indicators of the Russian Banking System. *Studies on Russian Economic Development*, 2, pp. 229–237.
- Pilnik N., Nikonov I., Elkina M., Radionov S. (2019) Assessing the Effects of Foreign Exchange Market Shocks on the Performance of the Russian Banking System. *Banking*, 12, pp. 14–23.
- Polbin A.V. (2013) Building a Dynamic Stochastic General Equilibrium Model for an Economy Highly Dependent on Oil Exports. *HSE Economic Journal*, 17, 2, pp. 347–387.
- Smets F., Wouters R. (2003) An Estimated Dynamic Stochastic General Equilibrium Model of the Euro Area. *Journal of the European Economic Association*, 1, 5, pp. 1123–1175.
- Smets F., Wouters R. (2007) Shocks and Frictions in US Business Cycles: A Bayesian DSGE Approach. *The American Economic Review*, 97, 3, pp. 586–606.