

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ЭКОНОМИКИ

УДК: 330,3; 519.245 С61
JEL: E17, C53

Прогнозирование развития экономики с учетом нескольких точек поворота: индикаторы, калибровка модели, имитационные расчеты

А. В. Воронцовский, Л. Ф. Вьюненко

Санкт-Петербургский государственный университет,
Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9

Для цитирования: Воронцовский А. В., Вьюненко Л. Ф. (2021) Прогнозирование развития экономики с учетом нескольких точек поворота: индикаторы, калибровка модели, имитационные расчеты. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика*. Т. 37. Вып. 4. С. 513–545. <https://doi.org/10.21638/spbu05.2021.401>

В статье рассматриваются возможности построения прогнозов макроэкономических показателей с учетом точек поворота динамики их тенденций в режиме имитационных расчетов по методу Монте-Карло на основе дискретной аппроксимации ограничений простой стохастической модели экономического роста. В первой части статьи анализируются проблемы обоснования индикаторов точек поворота. Показано, что единого подхода к их определению не существует, часто в качестве таких индикаторов рассматривают изменения ВВП, цен на нефть и других показателей. Во второй части предлагается связать влияние точек поворота с изменением значения одного из числовых параметров рассматриваемой модели роста — нормы амортизации капитала. Для определения параметров модели предложена специальная процедура ее калибровки, основанная на решении оптимизационной задачи по критерию минимума расхождений между средней расчетной и фактической траекториями ВВП и потребления за период калибровки. В третьей части выполнены экспериментальные расчеты в режиме имитации по данным экономики Финляндии, Кипра и Японии с учетом выделения точек поворота. Для Кипра и Японии были выделены три точки поворота, для Финляндии одна. Проведены расчеты прогнозов динамики ВВП и потребления для указанных стран в текущих и постоянных ценах 2010 г. Для всех трех рассмотренных стран результаты расчетов показали, что косвенный учет точек поворота с помощью изменения нормы амортизации капитала позволил существенно улучшить качество прогнозов по средней расчетной траектории с учетом заданного доверительного интервала на выбранном периоде прогнозирования.

© Санкт-Петербургский государственный университет, 2021

Ключевые слова: прогнозирование макроэкономики, стохастические модели роста, дискретная аппроксимация, индикаторы точек поворота, норма амортизации капитала, калибровка модели, имитационные расчеты, ВВП, потребление.

Введение

При прогнозировании развития экономики в настоящее время исследователи сталкиваются с двумя основными проблемами. Во-первых, речь идет о том, в какой степени поступающие текущие данные могут оказывать влияние на корректировку и уточнение формируемых будущих значений макроэкономических показателей. Во-вторых, возникает вопрос, можно ли на основе наблюдений по поступающим данным определить будущие кардинальные изменения тенденций развития экономики, обосновать формирование условий и факторов, определяющих наступление периода, в котором происходит кардинальное изменение тенденций развития экономики, нарушающих ее эволюционное развитие.

Исследование, анализ и прогнозирование развития макроэкономических процессов предполагает два принципиально разных подхода к формированию сценариев будущего развития экономики. Во-первых, можно рассматривать так называемый инерционный, или эволюционный, сценарий, который предполагает, что будущие изменения в экономике происходят в пределах определенной тенденции и соответствующие случайные факторы лишь порождают колебания вокруг средней тенденции. Второй подход опирается на то, что в будущем случайные факторы или шоковые переменные окажут существенное влияние на изменение этой тенденции. Подобный подход — трансформационный, или преобразовательный, — опирается на то, что в будущем неизвестные или случайные факторы определяют кардинальное изменение текущей динамики макроэкономических показателей, и предполагает появление будущих точек поворота, в которых проявится существенное влияние на изменение этой тенденции.

В настоящее время в процессе прогнозирования исследователи особое внимание уделяют использованию инструментов аналитики больших данных [Fuleky, 2019]; фокусируются на использовании квартальных данных в процессе макроэкономического прогнозирования [Clements, Galvão, 2008]; анализируют применение авторегрессионных моделей в процессе прогнозирования [Louzis, 2019]; подчеркивают роль прогнозирования ВВП в процессе обоснования макроэкономической политики [Bhattacharya, Chakravarti, Mundle, 2019]; рассматривают возможности повышения эффективности прогнозирования за счет обоснования источников и факторов роста [Rossi, Sekhposyan, 2011].

Вместе с тем продолжают развиваться также и известные ранее основные подходы к анализу и прогнозированию развития экономики, которые исходят из условий реализации первого подхода [Ghysels, Hill, Massimiliano, 2018; Tkacz, 2013]. Эволюционный сценарий предполагает колебания ВВП, потребления, капитала инфляции и других макроэкономических показателей в пределах установленных тенденций. Есть предложения по применению эконометрических методов, опирающихся на имитацию для оценивания стохастических дифференциальных уравнений и факторных моделей [Gouriéroux, Monfort, 2002].

Применение имитационных методов прогнозирования позволяет обеспечить рассмотрение трансформационного сценария при построении траекторий роста

с учетом возможности появления точек поворота. Для построения рекуррентных соотношений, позволяющих строить траектории развития макроэкономических показателей в режиме имитации, необходимо решить задачу параметрической идентификации, или калибровки, рассматриваемой далее модели экономического роста для закрытой экономики. Формирование таких траекторий существенно зависит от возникающих в будущем точек поворота тенденций развития макроэкономических показателей. Поэтому важную роль при проведении подобных расчетов играет обоснование индикаторов кризисного развития экономики, которые могут позволить выделить периоды наступления будущих ожидаемых точек поворота и скорректировать формируемые траектории роста с учетом их наступления.

Основная задача данной статьи заключается в разработке методов учета ожидаемых точек поворота в процессе формирования рекуррентных соотношений и проведении калибровки моделей, которые должны обеспечить построение среднесрочных прогнозов макроэкономического роста в режиме имитации на основе средних расчетных траекторий. Основная гипотеза состоит в том, что учет точек поворота может повысить качество формируемых прогнозов. Дополнительная гипотеза связана с возможностью выделения макроэкономических индикаторов, которые позволяют формировать ожидания относительно будущих точек поворота. Поэтому вначале рассмотрим особенности основных точек поворота макроэкономических тенденций развития в различных странах и мире в целом за последние 20–30 лет и обратим внимание на возможные индикаторы, опираясь на которые можно было бы предсказать периоды наступления точек поворота.

1. Точки поворота и возможные индикаторы кризисного развития экономики

Под точкой поворота тенденции рассматриваемого макроэкономического показателя понимается короткий период времени, когда наблюдаемая тенденция развития этого показателя резко меняется [Воронцовский, Вьюненко, 2016]. Могут быть рассмотрены точки поворота, обусловленные существенным ухудшением состояния экономики или же определяемые ее значительным улучшением, порождаемым благоприятным влиянием будущих факторов. Примерами могут служить точки поворота тенденций развития как экономики отдельных стран и регионов, так и мировой экономики в целом. Если рассматривать эти точки поворота макроэкономической динамики с учетом возможной их оценки и предвидения событий, их определяющих, то можно их разделить следующим образом.

Во-первых, существуют события, которые вообще невозможно предсказать заранее. К ним относится авария на станции «Фукусима» в 2011 г. или разразившаяся мировая пандемия COVID-19 в 2020 г. Наступление этих событий носит неожиданный или случайный характер, и индикаторы наступления в принципе невозможно наблюдать.

Во-вторых, можно выделить различные экономические кризисы, например мировой экономический кризис 2008 г., экономический кризис в России в августе 1998 г. и другие кризисы в отдельных странах. В отношении подобных кризисов можно наблюдать динамику их макроэкономических индикаторов, но при условии, что эти индикаторы выделены заранее и наблюдаемая динамика позволяет сделать

определенные выводы о будущем развитии событий в неблагоприятном направлении. В настоящее время вряд ли существует единая теория подобных индикаторов, поэтому обратим внимание на примеры, которые могут пояснить или, наоборот, затруднить анализ будущего развития событий. Развитие мирового экономического кризиса 2008 г. и современной пандемии COVID-19 заставило обратить особое внимание на расширение представлений об их применении в процессе прогнозирования макроэкономического развития.

Возможности и проблемы обоснования соответствующих индикаторов, которые позволяют сделать вывод о возможности появления в будущем того ли иного экономического кризиса, нашли свое отражение в современной научной литературе. Так, А. Миглиетта и Ф. Вендитти обращают внимание на обоснование индикаторов условий, сдерживающих развитие итальянской экономики [Miglietta, Venditti, 2019]. Т. Кук и А. Смальтер Холл предлагают формировать макроэкономические индикаторы с помощью нейронных сетей и использовать их при прогнозировании [Cook, Smalter Holl, 2017]. Д. Зондерман и Н. Зорелл предлагают выделять набор макроэкономических показателей, отражающих внутренние и внешние дисбалансы в экономике страны, которые совместно позволяют предсказывать серьезные рецессии и оценивать макроэкономические проблемы экономики в любой момент времени [Sondermann, Zorell, 2019]. Н. Христов и М. Рот обращают внимание на применение шоковых переменных как индикаторов развития будущих неопределенных факторов, которые могут содержать некоторую полезную информацию о потенциальном нарастании проблем в сфере финансов [Hristov, Roth, 2019].

Предлагается даже использовать индекс настроений потребителей (англ. consumer sentiment index), формируемый на основе опросов на предмет уверенности в анализе условий текущей экономической ситуации, в качестве ведущего индикатора развития реальных экономических условий [Song, Shin, 2019].

Следует отметить, что иногда развитие кризиса можно наблюдать по мере развития событий. Пример — мировой кризис, вызванный пандемией COVID-19 в 2020 г. Согласно информации Всемирного банка, оценки существенного падения объемов ВВП в 2020 г. как в мире в целом, так и в ведущих странах, сказываются на прогнозируемых оценках. Приведенные в табл. 1 данные показывают, что еще до окончательного подведения итогов года Всемирный банк сформировал свои негативные ожидания относительно последующего развития событий. Очевидно, что они начали формироваться только после развития пандемии COVID-19, но в любом случае субъективные ожидания могут играть важную роль в процессе предсказания будущих точек поворота динамики развития экономики и других событий.

В табл. 1 показано развитие кризиса мировой экономики в 2020 г. в разрезе основных регионов земного шара. При этом кризис больше затронул развитые страны и страны зоны евро, а наименьшее сокращение темпов роста ВВП ожидалось для стран с формирующимся рынком и развивающихся стран. Данные за 2018 и 2019 гг. показывают сокращение темпов прироста ВВП, но не позволяют сделать однозначный вывод о надвигающемся кризисе.

Вряд ли приведенные в табл. 1 темпы прироста ВВП для указанных регионов мира можно рассматривать как индикаторы, позволяющие прогнозировать будущий мировой экономический кризис. При этом его наступление в 2020 г. наблюдается однозначно по мере реализации неблагоприятных условий. Поэтому рас-

смотрим подробнее темпы прироста ВВП основных ведущих стран, входивших в первую десятку стран по размеру ВВП (табл. 2).

Таблица 1. Динамика ВВП в реальном выражении по важнейшим регионам мира, %

Регионы мира	Годы				
	2018	2019	2020е	2021f	2022f
Мир	3,0	2,3	-4,3	4,0	3,8
Страны с развитой экономикой	2,2	1,6	-5,4	3,3	3,5
Зона евро	1,9	1,3	-7,4	3,6	4,0
Страны с формирующимся рынком и развивающиеся страны	4,3	3,6	-2,6	5,0	4,2

Примечание. е — оценка, f — прогноз Всемирного банка.

Источники: Перспективы мировой экономики. (2021) URL: <https://www.vsemirnyjbank.org/ru/publication/global-economic-prospects/> (дата обращения: 08.02.2021).

Таблица 2. Темпы прироста ВВП за период 2015–2020 гг., %

Страна	Темп прироста ВВП за год					Среднегодовой темп прироста ВВП за период	
	2016	2017	2018	2019	2020	2015–2019	2017–2019
США	2,83	4,26	5,47	3,98	-2,92	4,13	2,64
Китай	1,47	8,76	12,86	6,43	3,33	7,30	7,79
Япония	12,17	-1,14	1,75	2,58	-3,33	3,72	-0,06
Германия	3,19	6,23	7,74	-2,62	-2,10	3,56	2,21
Великобритания	-7,68	-1,33	7,53	-1,32	-6,82	-0,85	-0,62
Франция	1,35	4,94	7,52	-2,62	-6,08	2,73	0,79
Индия	9,03	15,65	2,26	5,75	-9,62	8,06	3,11
Италия	2,18	9,91	1,16	-4,12	-7,65	2,16	-0,39
Бразилия	-0,17	9,13	-3,88	-2,44	-25,83	0,54	-6,66
Канада	-1,86	7,98	4,00	1,17	-7,83	2,76	1,16

Составлено по: Мировой рейтинг стран по ВВП в 2019 году | Статистика. URL: <https://knoema.com/nwnfkne/world-gdp-ranking-2020-gdp-by-country-data-and-charts> (дата обращения: 04.05.2021).

Данные табл. 2 показывают развитие экономического кризиса в 2020 г. для развитых стран. Очевидно, что из них только для экономики Китая темпы прироста ВВП хотя и сократились, но остались положительными — немногим более 3,3%. Представленные оценки темпов роста ВВП в 2020 г. отражают условия кризиса после его появления. Если проанализировать динамику ВВП для рассматриваемых стран в период до 2020 г., то можно выделить определенные ее негативные тенденции. В табл. 2 приведены данные для стран мира, имевших наибольший объем ВВП в период 2015–2020 гг. При этом в 2019 г. только четыре страны — США, Китай, Япония и Индия — имели положительные темпы прироста ВВП, для остальных стран в 2019 г. наблюдалось сокращение ВВП. Если сравнить темпы роста ВВП с 2017 по

2019 г., то практически для всех стран очевидна тенденция к снижению темпов прироста ВВП. Определенным индикатором развития кризисных явлений в экономике могут послужить среднегодовые темпы прироста ВВП за различные периоды. Данные табл. 2 показывают, что практически для всех стран, за исключением Китая, среднегодовые темпы прироста ВВП за 2015–2019 гг. выше, чем соответствующие темпы прироста ВВП за 2017–2019 гг., что также могло послужить основанием для предположения о развитии в будущем кризисных явлений. Основной причиной развития кризисных явлений стала пандемия COVID-19, что не позволяет сделать однозначный вывод о том, наблюдаем мы в период 2017–2019 гг. развитие кризиса или форму проявления циклических колебаний мировой экономики.

Проанализируем условия мирового экономического и финансового кризиса 2008 г., который, возникнув первоначально в сфере ипотечного кредитования в США, далее по системе глобальных связей распространился по всему миру и оказал сугубо отрицательное воздействие на развитие и экономический рост отдельных стран, а значит, и на результаты бизнеса в этих странах. При этом развитие мирового экономического кризиса для основной массы стран привело к неблагоприятным последствиям, в то время как отдельным странам, например Китаю, оно помогло усилить позиции на мировой арене, обеспечив условия экономического роста. Следует отметить, что никто вплоть до 2007 г. не мог себе представить или обосновать, каковы будут условия или формы развития данного кризиса и в чем проявятся особенности его влияния на тот или иной конкретный бизнес.

Если рассматривать данные о динамике ВВП за предшествующие 5 лет, то следует принять во внимание темпы прироста ВВП, рассчитанные по данным Всемирного банка (табл. 3).

Таблица 3. Темпы прироста ВВП стран мира (по ППС, %)

Страна	Годовой темп прироста ВВП				Среднегодовой темп прироста ВВП	
	2006	2007	2008	2009	2004–2008	2006–2008
Мир в целом	9,48	7,64	5,57	0,97	7,89	7,08
Великобритания	7,19	3,11	3,66	–3,87	4,65	3,50
Германия	7,19	5,75	3,93	–2,84	4,71	5,09
Китай	16,13	14,75	10,54	9,28	14,61	14,51
США	5,97	4,41	1,77	–1,83	5,13	3,20
Франция	7,07	5,44	3,42	–0,59	5,22	4,64
Япония	4,57	4,20	0,90	–4,83	3,82	2,63

Источник: ВВП стран мира в 1990–2020 гг. (2020) URL: <https://svspb.net/danmark/vvp-stran-wb.php> (дата обращения: 02.05.2021).

Данные, приведенные в табл. 3, позволяют сделать вывод о явно выраженной тенденции сокращения темпов прироста ВВП, которая характерна как для мира в целом, так и для отдельных стран начиная с 2006 г. Но это вряд ли дает основания заключить, что после 2008 г. надвигается существенный экономический кризис. Только в Японии в 2008 г. можно наблюдать падение темпов роста ВВП до 0,9%. Для остальных развитых стран, данные по которым приведены в табл. 3, как и для мира в целом, темпы роста ВВП весьма значительны, особенно для Китая, для которого

они составили более 10 %, в то время как для США этот прирост был немного менее 2 %. Среднегодовые темпы прироста ВВП для указанных стран за период 2006–2008 гг. ниже, чем за период 2004–2008 гг., но это не позволяет сделать однозначный вывод о надвигающемся кризисе. Кризис в полной мере проявился в 2009 г., когда темпы роста ВВП почти всех развитых стран мира, за исключением Китая, стали отрицательными.

Для того чтобы пояснить, что могут быть и другие индикаторы будущих кризисов, проанализируем уже подзабытый кризис экономики Российской Федерации в августе 1998 г., сопровождавшийся падением темпов роста ВВП, существенным ростом курса доллара по отношению к рублю, снижением покупательной способности рубля и другими нежелательными последствиями. Для выделения и анализа индикаторов данного кризиса обратим внимание на ряд макроэкономических показателей, динамика которых в течение года перед кризисом августа 1998 г. приведена на рис. 1.

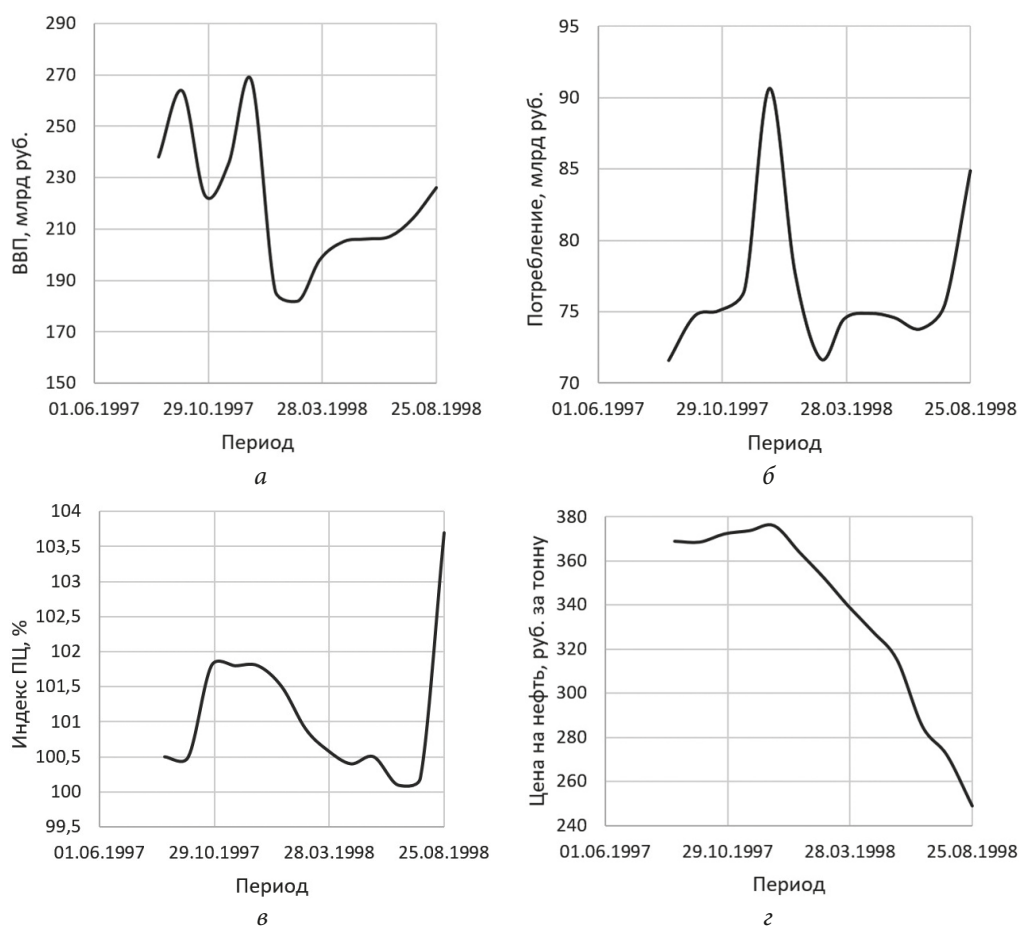


Рис. 1. Возможные индикаторы кризиса экономики России в августе 1998 г.: а — ВВП; б — потребление; в — индекс потребительских цен; з — цена за нефть.

Составлено по: Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://www.gks.ru> (дата обращения: 29.03.2002).

Примечательно, что размер ВВП неуклонно возрастал начиная с февраля 1997 г. Аналогичная динамика наблюдается для размера потребления. В то же время для индекса потребительских цен также можно отметить определенный рост, что свидетельствует о некотором увеличении инфляции перед кризисом, хотя и незначительном.

На основе динамики указанных показателей вряд ли можно сделать какой-либо вывод о надвигающемся кризисе, и, скорее всего, подобные показатели нельзя рассматривать в качестве его индикаторов. Но если обратить внимание на динамику отечественной цены на нефть в рублях за тонну, то очевидно четкое ее сокращение с начала 1998 г. Очевидно, что цена на нефть могла быть таким индикатором, но в преддверии кризиса мало кто обращал внимание на ее динамику. В данном случае мы не имеем дело с четко выраженными индикаторами будущего кризиса.

Для определенного вида техногенных или природно-климатических кризисов динамика ВВП или цен на нефть не может служить индикатором надвигающегося кризиса. Авария максимального уровня по международной шкале ядерных событий на атомной станции «Фукусима» в 2011 г. произошла в результате сильнейшего в истории Японии землетрясения и последовавшего за ним цунами. Она одновременно породила не только изменение общего отношения к развитию атомной энергетики в мире, но и вызвала существенную трансформацию развития экономики Японии. С одной стороны, эта авария привела к значительному замедлению темпов развития экономики Японии, с другой — ее последствия сказываются не только на территории Японии, несмотря на то что эта авария по своим разрушениям и влиянию на окружающую среду и другим локальным последствиям гораздо менее значительна, чем авария на АЭС в Чернобыле в 1986 г. Они во всем мире вызвали мощное движение против атомной энергетики и строительства атомных станций, захоронения ядерных отходов и т. п. Правительства отдельных стран заявили о прекращении и свертывании программ развития ядерной энергетики. За более чем 50-летний период «мирного атома» было получено достаточно много подтверждений тому, что на АЭС могут возникать проблемы и происходить аварии, но никто не мог предсказать, как повлияют последствия этой аварии на перспективы ядерной энергетики во всем мире, а значит, и на результаты бизнеса в этой сфере.

Учитывая сказанное, можно сделать вывод, что в настоящее время отсутствуют единые общепринятые индикаторы, позволяющие прогнозировать будущие точки поворота макроэкономических тенденций развития экономики. Анализ макроэкономических показателей, особенно динамики темпов роста и размеров ВВП, поможет сфокусироваться на возможностях развития экономики. Более содержательным, как показано выше, может быть анализ динамики цен на нефть. Следует также обращать внимание на состояние и перспективы развития финансовых рынков. Достаточно вспомнить, что крупнейший в США экономический кризис 1930-х годов прошлого века начался с так называемого биржевого краха 1929 г. — обвального падения курсов ценных бумаг в США. Это падение началось в «черный четверг» 24 октября 1929 г. и продолжалось несколько дней. Примечательно, что стабильное падение индекса Доу Джонса произошло после 3 сентября 1929 г., но на это никто не обратил внимания, хотя это и было одним из индикаторов будущего кризиса.

В настоящее время общие теоретические основы и методические рекомендации по обоснованию будущих точек поворота не разработаны, и на первый план выхо-

дит возможность подстроить прогнозы развития экономики под складывающуюся тенденцию при первых признаках кризиса и появления точки поворота. Это возможно сделать либо путем учета оперативно поступающей текущей информации и ее использования в процессе краткосрочного прогнозирования, либо путем выбора и калибровки соответствующей модели и изменения ее числовых параметров.

В первом случае речь может идти о методе краткосрочного прогнозирования, названном его авторами наукастингом (англ. now-casting) и получившем развитие в начале нынешнего века. Суть метода заключается в применении для корректировки прогнозов макроэкономических или иных показателей текущих высокочастотных данных и специальных методов их обработки. Сам термин используется при прогнозировании погоды в метеорологии и предполагает постоянную корректировку прогнозов с учетом получаемых данных о состоянии погоды. Эту идею было предложено перенести на экономические исследования и построение краткосрочных прогнозов [Angelini et al., 2011; Bańbura et al., 2013; Giannone, Reichlin, Small, 2008; Rossi, Sekhposyan, 2011]. В настоящее время метрологию краткосрочного прогнозирования с учетом поступающих высокочастотных данных стараются перенести на анализ и прогнозирование динамики ВВП. Е. Коченда и К. Погосян применили метод наукастинга к анализу динамики и краткосрочного прогнозирования для группы из двенадцати старых и шести новых стран — членов Европейского союза [Kočenda, Poghosyan, 2020]; Д. Браголи и Дж. Форстен использовали идеи наукастинга для прогнозирования ВВП Индии [Bragoli, Fosten, 2018]; Н. Энести, А. Б. Галвао, С. Миранда-Агриппино рассмотрели использование ежемесячных и квартальных показателей, собираемых в режиме реального времени для пересмотра квартальных оценок роста ВВП Великобритании в условиях заданной динамической многофакторной модели [Anesti, Galvao, Miranda-Agrippino, 2018]. Обращается внимание на возможности использования текущих результатов финансовых рынков в процессе макроэкономического прогнозирования [Knotted, Zaman, 2017].

В рамках исследований проблем наукастинга проводится анализ влияния индикаторов настроений, о которых уже шла речь выше [Gajewski, 2014]. Существенная проблема данного подхода к прогнозированию ВВП состоит в том, как и в какой форме поступающая текущая информация может быть увязана с годовыми или полугодовыми данными о ВВП или другими макроэкономическими показателями. В отечественной литературе предлагается использовать метод комбинирования прогнозов для краткосрочной оценки темпов экономического роста в России, опирающийся на применение достаточно большого числа моделей прогнозирования как ВВП в целом, так и его отдельных компонент, включая применение высокочастотных данных [Жемков, 2021].

Следует отметить, что проблемы выделения индикаторов точек поворота в настоящее время носят дискуссионный, незаконченный характер, поскольку эти индикаторы по-разному проявляются во время кризисов в различных странах. В качестве таких индикаторов можно рассматривать изменения динамики ВВП, цены на нефть, показатели фондовых рынков и т. п. в зависимости от имеющихся возможностей и поставленной задачи.

С практической точки зрения речь идет об учете оперативных текущих данных в процессе наукастинга или формировании будущих ожиданий о возможном

кризисном развитии событий. В любом случае необходимо провести калибровку используемой модели прогнозирования с учетом поступающих данных. Поэтому далее в статье обратим внимание на возможности подобной калибровки и трансформации прогнозов макроэкономических показателей в режиме имитации при появлении первых сигналов о развитии кризисных явлений в экономике.

2. Некоторые возможности калибровки моделей экономического роста

Для проведения экспериментальных расчетов прогнозирования макроэкономических показателей с учетом точек поворота их динамики воспользуемся условиями стохастической модели экономического роста для закрытой экономики (см.: [Воронцовский, Вьюненко, 2016]). При постановке этой модели роста учитываются следующие предпосылки: производственная функция и технологические изменения описываются в форме АК-модели или АК-структуры; прирост выпуска продукции, капитала и объема потребления представляется в виде дифференциального уравнения, характеризующего зависимость прироста выпуска от прироста объема капитала; случайный фактор учитывается в форме приращения винеровских случайных процессов. При моделировании случайного фактора в производстве будем считать, что этот фактор учитывается при моделировании используемого капитала и изменения объемов потребления, лаг запаздывания отсутствует, то есть инвестиции мгновенно преобразуются в капитал.

Обозначим $dY(t)$, $dK(t)$, $dC(t)$ — приращение валового выпуска продукции, капитала и объема потребления соответственно за период $[t, t + dt]$; $A(t)$ — технологический коэффициент; δ — фиксированную норму амортизации капитала; $Y(t)$, $K(t)$, $C(t)$ — ВВП, запас капитала и объем потребления соответственно в момент времени t ; $dw(t)$ — приращение винеровского случайного процесса со средним равным нулю и дисперсией $\sigma_k^2 dt$. Основные условия рассматриваемой модели экономического роста для закрытой экономики, учитывающей базовые макроэкономические показатели — выпуск продукции, капитал, потребление и инвестиции, — запишем так:

$$\begin{aligned}
 Y(t) &= A(t)K(t); \\
 dY(t) &= (A(t) - \delta)K(t)dt + K(t)dw(t); \\
 dK(t) &= ((A(t) - \delta)K(t) - C(t))dt + K(t)dw(t); \\
 dC(t) &= A(t)Kdt - (1 + \delta)K(t)dt + A(t)K(t)dw(t).
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Модель экономического роста (1) представляет собой очень простой вариант стохастической модели роста, который в данной статье используем для иллюстрации особенностей и возможностей построения траекторий экономического роста в режиме имитации.

Калибровка выбранной модели роста позволяет подстроить кривую прогноза ВВП или другого макроэкономического показателя под складывающуюся или ожидаемую изменяющуюся тенденцию динамики рассматриваемого показателя путем

преобразования числовых параметров модели в выделенных точках поворота. Применение для прогнозирования развития экономики дискретной аппроксимации стохастических уравнений модели роста в режиме имитации, которое предполагается в данной статье, опирается на учет только заданных начальных значений макроэкономических показателей. Это позволяет преодолеть ряд формальных трудностей, возникающих в том случае, если прогнозирование осуществляется на основе обработки динамических рядов данных с помощью эконометрических методов и предполагает построение уравнений регрессии [Дугерти, 2004; Сток, Уотсон, 2015]. Одновременно это позволяет оперативно корректировать прогноз рассматриваемого макроэкономического показателя, принимая новые появившиеся данные о развитии экономики за начальные. Подобная калибровка модели имеет целью улучшить характеристики формируемого прогноза, что, в свою очередь, помогает преодолеть инерционность сценария прогнозирования, то есть сохранение прошлой тенденции в будущих периодах, и обеспечить возможности эволюционного сценария прогнозирования. Кроме того, совершенно исключаются проверки различных статистических гипотез о стационарности ряда, автокорреляции, гипотез о равенстве нулю коэффициентов уравнений регрессии и т. п. Калибровка модели опирается на обоснование тех периодов времени — точек поворота, — когда возникает резкая смена тенденции развития рассматриваемых макроэкономических показателей и необходимо обеспечить в процессе расчетов в режиме имитации определенное соответствие расчетных результатов и фактических траекторий развития экономики.

Калибровку модели, во-первых, можно проводить экспериментальным путем, определяя в процессе исследования значения числовых параметров рассматриваемых уравнений модели таким образом, чтобы обеспечить попадание фактических траекторий макроэкономических показателей в 50 % или иной выбранный доверительный интервал на рассматриваемом периоде калибровки. Во-вторых, при наличии необходимой информации возможно также использовать статистические методы анализа соответствия теоретических и расчетных траекторий макроэкономических показателей. В-третьих, для калибровки модели допускается применение специальных оптимизационных методов, позволяющих проводить калибровку с учетом выбранного критерия. Этот подход рассмотрим далее.

В общем случае задача калибровки модели ставится следующим образом. Рассматривается функциональная зависимость, которая включает параметры модели:

$$y = F(x, a, \varepsilon), \quad (2)$$

где $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ — вектор объясняющих переменных; $a = (a_1, a_2, \dots, a_m)$ — вектор параметров модели; $y = (y_1, y_2, \dots, y_k)$ — вектор объясняемых переменных; ε — вектор, который представляет выделенную стохастическую составляющую наблюдаемого показателя. Требуется найти значения параметров, обеспечивающих наилучшее соответствие формируемой модели наблюдаемым условиям. Это соответствие оценивается путем сравнения полученных на ее основе расчетных значений с эталонными в соответствии с критерием, выбранным для анализа. В качестве эталонных значений могут выступать либо реальные или наблюдаемые значения количественных показателей, либо данные, полученные с помощью специальной процедуры сравнения, определяемой целями моделирования.

Для прогнозирования динамики ключевых макроэкономических параметров — ВВП, капитала и потребления — в режиме имитации с учетом точек поворота воспользуемся тем, что ограничения модели экономического роста для закрытой экономики (1) могут быть заменены рекуррентными соотношениями, при определенных предположениях представляющими собой дискретную аппроксимацию ограничений этой модели. Эти соотношения будем рассматривать в виде, обоснованном нами ранее [Воронцовский, Вьюненко, 2016]. Для их записи введем дополнительные обозначения: Δ — шаг по времени; u_t — независимые нормально распределенные случайные величины с математическим ожиданием 0 и дисперсией σ^2 . Указанные рекуррентные соотношения можно записать так:

$$\begin{cases} Y_{t+\Delta} = Y_t + (A_t - \delta)K_t\Delta + A_tK_t\sqrt{\Delta}u_t, \\ K_{t+\Delta} = K_t + ((A_t - \delta)K_t - C_t)\Delta + K_t\sqrt{\Delta}u_t, \\ C_{t+\Delta} = C_t + A_tK_t\Delta - (1 + \delta)K_t\Delta + A_tK_t\sqrt{\Delta}u_t. \end{cases} \quad (3)$$

Существенное преимущество модели (3) с точки зрения проведения ее калибровки связано с относительной простотой используемых уравнений и малым количеством числовых параметров, что позволяет легко проводить эксперименты в режиме имитации.

Далее обратим внимание на решение задачи параметрической идентификации, или калибровки, модели (3). Для использования условий модели (3) для прогнозирования необходимо решить задачу калибровки модели и определить следующий набор параметров: A_0 , δ , Δ , — по выбранному критерию, о котором речь пойдет далее. Значения A_t будут рассчитываться по условиям модели в процессе реализации алгоритма расчетов.

Включение шага по времени Δ в число калибровочных параметров нуждается в пояснении. В общем детерминированном случае качество решения, получаемого с использованием моделей типа (3), регулируется шагом по времени, причем в практически реализуемом диапазоне значений точность решения возрастает с уменьшением его размера. При наличии стохастической составляющей шаг по времени необходимо выбирать в каждом конкретном случае с учетом возникающей детерминированной погрешности, с одной стороны, и ограничений, определяемых стохастической составляющей, — с другой. Результаты вычислительных экспериментов, выполненных в рамках настоящего исследования для разных стран и расчетных периодов, продемонстрировали, что значения макроэкономических показателей, полученные на основе реализации условий модели (3) в режиме имитации, существенно зависят от величины шага Δ . В качестве примера на рис. 2 представлены траектории ВВП, полученные в результате имитации с различными значениями шага Δ , и статистические данные ВВП Кипра.

Приведенные результаты показывают, что расчетные значения макроэкономических параметров и направление динамики расчетных траекторий ВВП Кипра с 2008 по 2018 г. существенно изменяются в зависимости от выбранной длительности временных подынтервалов, на которые разбивается анализируемый период. Графики на рис. 2 демонстрируют, что формируемые траектории и соответствующие доверительные интервалы весьма чувствительны к величине выбираемого

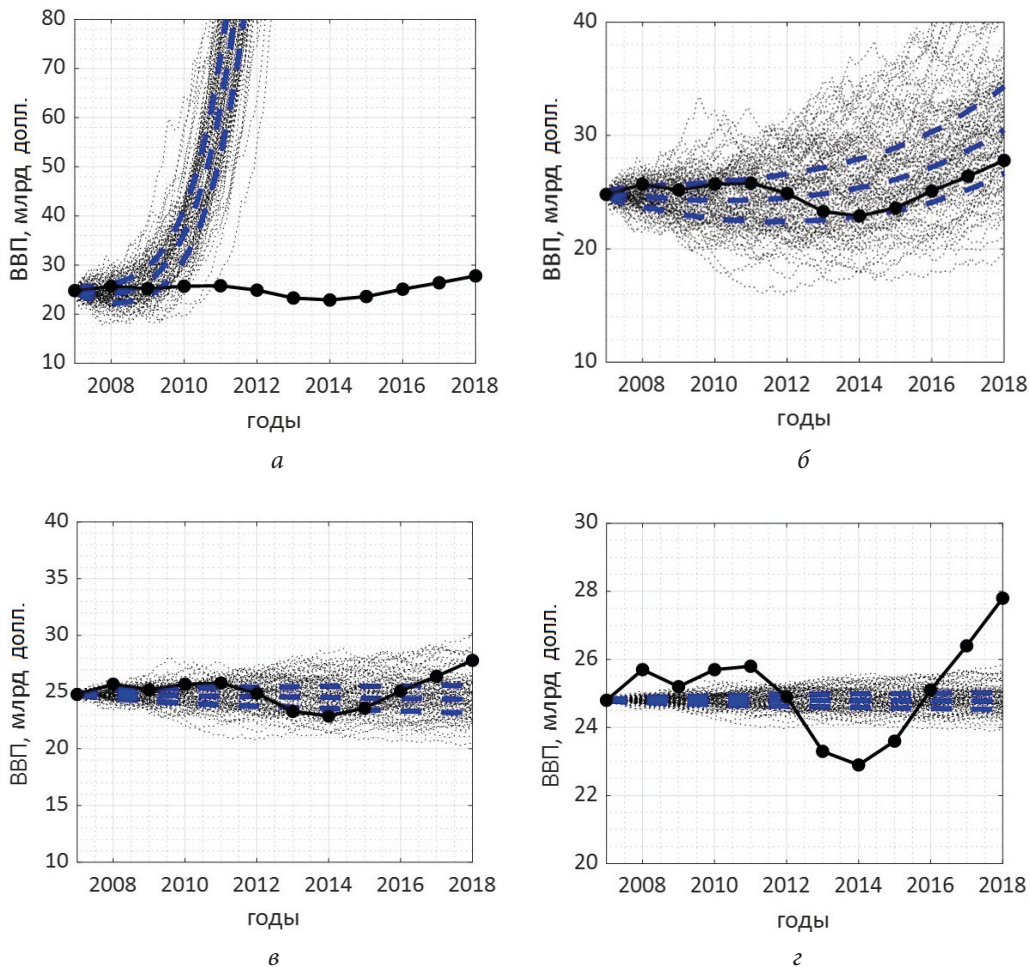


Рис. 2. Результат расчета траекторий процесса изменения ВВП Кипра в 2007–2018 гг. с различными значениями шага по времени при фиксированных значениях остальных параметров модели: а — 1 месяц; б — 1 неделя; в — 1 день; г — 1 час.

Примечание. — траектории, полученные в результате имитации; — — — — средняя расчетная траектория и границы 50%-й доверительной области; —●— — статистические данные.

Составлено по: *GDP (current US\$) — Cyprus*. URL: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD?locations=CY> (дата обращения: 08.05.2021).

шага по времени. Поэтому параметр Δ должен быть определен в процессе калибровки модели (2). В процессе обоснования калибровочного периода могут быть установлены точки поворота динамики рассматриваемых показателей, примеры которых приводились в предыдущем разделе. Их необходимо учесть при калибровке модели и формального анализа ее соотношений в режиме имитации. Если период, выделенный для калибровки модели, содержит моменты резкого изменения тенденции анализируемого показателя (точки поворота), то при моделировании подобных показателей их необходимо учесть. Для этого предполагается произвести корректировку числовых параметров модели (3). После точки поворота дина-

мика показателей должна определяться с учетом новых значений числовых параметров модели. Учитывая, что числовых параметров в данной модели всего три: A_0 , Δ , δ — и параметр Δ одинаковый для всего периода расчетов, а параметр A_0 относится к начальному периоду времени и пересчитывается по условиям модели, то возможные изменения касаются только одного параметра — δ .

Для оценки влияния точек поворота на формируемые прогнозы предлагается расширить исходный набор калибровочных параметров и дополнить его параметрами, отражающими изменения динамики ВВП и потребления в точках поворота. Принимая во внимание основные предпосылки построения модели (1), к числу которых относятся, во-первых, моделирование ВВП в форме АК-модели и, во-вторых, учет случайного фактора при размере капитала, а также рассматривая отмеченные выше возможности изменения параметра δ , в настоящем исследовании будем предполагать, что точкам поворота соответствуют скачкообразные изменения нормы амортизации капитала на соответствующем периоде времени. Формально это означает введение ряда дополнительных числовых значений параметра нормы амортизации по числу выделенных точек поворота на рассматриваемом калибровочном периоде.

При этом в качестве индикаторов точки поворота будем рассматривать периоды изменения динамики ВВП и потребления на выделенном периоде калибровки модели. Изменение нормы амортизации капитала, по сути, не является индикатором той или иной точки поворота, а служит специальной формой, позволяющей учесть влияние точек поворота на построение прогнозов макроэкономических показателей.

Следует отметить, что если при проведении расчетов и построении прогнозов динамики макроэкономических показателей появляется новая точка поворота заданных макроэкономических тенденций, то в этом случае необходимо провести заново калибровку модели, предварительно сократив или преобразовав выделенный период, на котором выполняется калибровка модели.

Предположим далее, что рассматривается n точек поворота, и в процессе калибровки модели нам необходимо учесть точки поворота в моменты времени t_k , где $k = 1, 2, \dots, n$. Тогда система (3) для калибровки модели с учетом числовых параметров $(A_0, \delta_0, \delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n, \Delta)$ приобретает вид

$$\begin{cases} Y_{t+\Delta} = Y_t + (A_t - \delta_k)K_t\Delta + A_tK_t\sqrt{\Delta}u_t; \\ K_{t+\Delta} = K_t + ((A_t - \delta_k)K_t - C_t)\Delta + K_t\sqrt{\Delta}u_t; \\ C_{t+\Delta} = C_t + A_tK_t\Delta - (1 + \delta_k)C_t\Delta + A_tK_t\sqrt{\Delta}u_t; \end{cases} \quad \delta_k = \begin{cases} \delta_0, 0 \leq t < t_1, \\ \delta_k, t_k \leq t < t_{k+1}, k = 1, 2, \dots, n, \\ \delta_n, t_n \leq t \leq T; \end{cases} \quad (4)$$

При построении критерия калибровки предлагается использовать известные метрики качества прогноза, в числе которых рассматриваются следующие относительные показатели: средняя процентная абсолютная ошибка прогноза (англ. mean absolute percentage error, MAPE), и определенная модификация среднеквадратической ошибки прогноза (англ. mean squared error, MSE), которую преобразуем в относительную форму (англ. mean squared percentage error, MSPE). Обозначим оценки для показателя ВВП — $MAPE_Y$ и $MSPE_Y$, а потребления — $MAPE_C$ и $MSPE_C$. Запишем их следующим образом:

$$MAPE_Y = \frac{100\%}{T} \sum_{t=1}^T \left| \frac{Y_t - \hat{Y}_t}{Y_t} \right|, \quad MSPE_Y = \frac{100\%}{T} \sum_{t=1}^T \left(\frac{Y_t - \hat{Y}_t}{Y_t} \right)^2, \quad (5)$$

$$MAPE_C = \frac{100\%}{T} \sum_{t=1}^T \left| \frac{C_t - \hat{C}_t}{C_t} \right|, \quad MSPE_C = \frac{100\%}{T} \sum_{t=1}^T \left(\frac{C_t - \hat{C}_t}{C_t} \right)^2, \quad (6)$$

где \hat{Y}_t — значения ВВП по средней расчетной траектории в период t , полученные в режиме имитации по первому уравнению системы (4); \hat{C}_t — то же самое для размера потребления, полученное по третьему уравнению в системе (4); Y_t — наблюдаемые значения показателя ВВП за период t ; C_t — то же для размера потребления в период t , $t = 1, 2, \dots, T$; T — длительность периода калибровки.

Тогда критерий для калибровки модели может быть построен таким образом, чтобы набор параметров, минимизирующий отклонения расчетных и фактических значений рассматриваемых показателей, обеспечивал наименьшее одновременное расхождение расчетных и эталонных данных для ВВП и потребления с учетом метрик (5) и (6) в следующей форме:

$$MAPE_Y(A, \delta, \Delta) \cdot MAPE_C(A, \delta, \Delta) \cdot MSPE_Y(A, \delta, \Delta) \cdot MSPE_C(A, \delta, \Delta) \rightarrow \min, \quad (7)$$

где $\delta = (\delta_0, \delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n)$.

Окончательно задачу калибровки модели (3) сформулируем так: найти числовые значения параметров рассматриваемой макроэкономической модели с учетом выбранного периода калибровки модели и выделенных точек поворота, так, чтобы учесть изменение нормы амортизации капитала в каждой выделенной точке поворота на рассматриваемом периоде калибровки и минимизировать произведение коэффициентов качества прогноза.

Формально учитывая ограничения (4)–(6) и целевую функцию (7), задачу можно записать следующим образом:

$$\begin{cases} Y_{t+\Delta} = Y_t + (A_t - \delta_k) K_t \Delta + A_t K_t \sqrt{\Delta} u_t; \\ K_{t+\Delta} = K_t + ((A_t - \delta_k) K_t - C_t) \Delta + K_t \sqrt{\Delta} u_t; \\ C_{t+\Delta} = C_t + A_t K_t \Delta - (1 + \delta_k) C_t \Delta + A_t K_t \sqrt{\Delta} u_t; \end{cases} \quad \delta_k = \begin{cases} \delta_0, 0 \leq t < t_1, \\ \delta_k, t_k \leq t < t_{k+1}, k = 1, 2, \dots, n, \\ \delta_n, t_n \leq t \leq T; \end{cases}$$

$$\delta_k \geq 0, \quad k = 0, 1, 2, \dots, n;$$

$$\begin{aligned} MAPE_Y &= \frac{100\%}{T} \sum_{t=1}^T \left| \frac{Y_t - \hat{Y}_t}{Y_t} \right|, \quad MSPE_Y = \frac{100\%}{T} \sum_{t=1}^T \left(\frac{Y_t - \hat{Y}_t}{Y_t} \right)^2, \\ MAPE_C &= \frac{100\%}{T} \sum_{t=1}^T \left| \frac{C_t - \hat{C}_t}{C_t} \right|, \quad MSPE_C = \frac{100\%}{T} \sum_{t=1}^T \left(\frac{C_t - \hat{C}_t}{C_t} \right)^2, \end{aligned} \quad (8)$$

$$MAPE_Y(A, \delta, \Delta) \cdot MAPE_C(A, \delta, \Delta) \cdot MSPE_Y(A, \delta, \Delta) \cdot MSPE_C(A, \delta, \Delta) \rightarrow \min.$$

Следует отметить два важных момента, связанных с организацией расчетов на основе построенной задачи (8). Во-первых, задача калибровки модели (3) в форме (8) является задачей поиска минимума стохастической функции критерия, зави-

сящей от нескольких переменных (калибровочных параметров). Поскольку функция критерия многоэкстремальна, для корректной постановки соответствующей вычислительной задачи необходимо, учитывая экономические особенности и специфику рассматриваемой макроэкономической модели, задать ограничения на возможные значения калибровочных параметров, то есть перейти от задачи (8) к специальной задаче условной оптимизации. Для решения такой задачи разработано довольно много методов (см., например: [Васильев, 1988; Граничин, 2003]). В нашем случае эффективен метод, реализующий алгоритм Нелдера — Мида (поиск по деформируемому многограннику). Выбор метода связан главным образом с тем, что он не накладывает ограничений на гладкость функции, и на каждой итерации алгоритма производится, как правило, всего несколько вычислений значений функции. Теория сходимости для метода Нелдера — Мида отсутствует. Известны примеры, когда метод приводит к неверному ответу даже на гладких функциях, зависящих от небольшого числа параметров. Кроме того, по этому алгоритму можно найти локальный оптимум, далекий от оптимальной точки, если стартовая точка выбрана неудачно. Эвристический метод решения проблемы заключается в определении узкого диапазона стартовых значений параметров и запуске алгоритма несколько раз (от разных стартовых точек).

В соответствии с ограничениями алгоритма Нелдера — Мида, используемого далее для решения задачи калибровки модели, при постановке этой задачи должно быть использовано не более шести-семи числовых параметров. Поскольку три из них должны быть определены в процессе обоснования начальных условий модели (3), то существует возможность принять во внимание не более трех-четырёх новых значений числовых параметров, то есть учесть не более трех-четырёх точек поворота на калибровочном периоде.

Если в процессе анализа периода, на котором осуществляется калибровка модели, могут быть выделены несколько наблюдаемых точек поворота, то необходимо предусмотреть формирование дополнительных числовых параметров на соответствующих временных интервалах.

3. Экспериментальные расчеты

В данном разделе рассмотрим примеры, которые покажут, как предлагаемая калибровка модели на относительно небольшом периоде, содержащем одну или несколько явных точек поворота, позволяет улучшить качество прогнозирования рассматриваемых макроэкономических показателей. Нами выполнено довольно много имитационных расчетов для прогнозирования ВВП и потребления на основе дискретной аппроксимации модели (3) для различных стран в условиях сценария устойчивого развития, то есть без учета точек поворота динамики указанных показателей; были также продемонстрированы возможности применения указанного метода для прогнозирования эффективных обменных курсов валют [Воронцовский, Вьюненко, 2017; Shavshukov, Vorontsovsky, Vyunenکو, 2018]. Результаты показали, что использование фиксированного значения числовых параметров на всем периоде калибровки модели не позволяло достигать высокого качества прогноза, из-за того что изменялась тенденция динамики рассматриваемых показателей в той или иной в точке поворота. В данном разделе покажем преимущества

метода прогнозирования, позволяющего учесть точки поворота в форме изменения значения нормы амортизации капитала δ в рассматриваемых точках поворота, а также сравним данный метод с условиями прогнозирования на основе сценария устойчивого развития, предполагающего постоянное значение всех числовых параметров на всем рассматриваемом периоде.

Вначале проанализируем специфику использования модели (3) для прогнозирования экономики Финляндии. Исходные данные приведены в табл. 4. Их анализ показывает явную точку поворота тенденции рассматриваемых показателей в 2009 г., то есть во время мирового экономического кризиса.

Таблица 4. Макроэкономические показатели Финляндии за 2006–2015 гг., млрд долл.

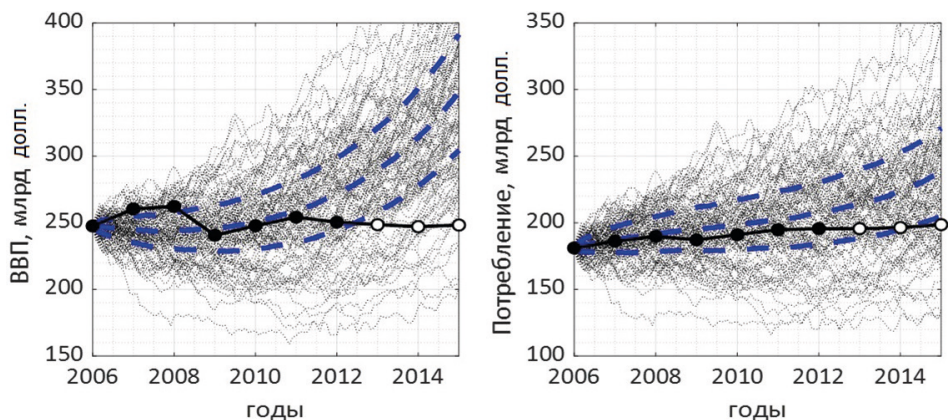
Год	ВВП		Потребительские расходы	
	Текущие цены	Постоянные цены 2010 г.	Текущие цены	Постоянные цены 2010 г.
2006	217,0893	247,7791	154,3056	181,0283
2007	256,3781	260,9098	177,5527	186,1520
2008	285,7163	262,9553	201,7109	189,7063
2009	253,4975	241,7231	192,4354	186,6747
2010	249,4243	249,4243	190,3517	190,3517
2011	275,6044	255,7788	210,6261	194,0751
2012	258,2901	252,2042	201,8377	194,9265
2013	271,3624	249,9301	213,5551	194,9253
2014	274,8628	249,0181	216,9316	195,5409
2015	234,5344	250,3719	184,8692	198,4808

Составлено по: Indicators. URL: <https://data.worldbank.org/indicator/> (дата обращения: 08.05.2021).

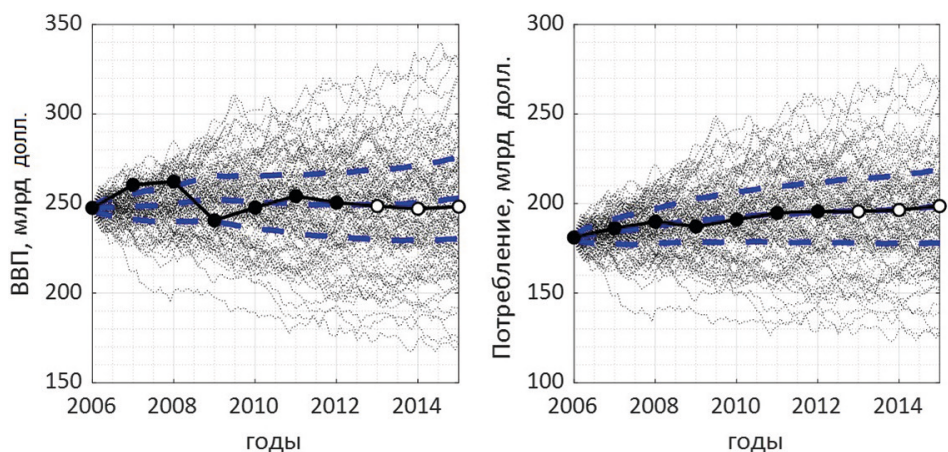
В процессе калибровки модели (3) по данным экономики Финляндии, согласно условиям задачи (8), были рассмотрены две возможности. Во-первых, были выполнены расчеты числовых параметров модели без учета точки поворота (вариант 1 в табл. 5). Во-вторых, было учтено изменение значения нормы износа капитала в 2009 г. Рассматриваемый период содержит точку поворота, связанную с глобальным экономическим кризисом 2008–2009 гг., поэтому выполнена калибровка модели (3) по четырем параметрам (вариант 2 табл. 5). Оба варианта результатов расчетов числовых параметров модели (3) по условиям задачи (8) запишем в табл. 5.

Таблица 5. Параметры модели для Финляндии, период калибровки 2006–2012 гг.

Вариант расчета	Период использования параметров	Числовые параметры модели		
		A_0	δ	Δ
1. Точки поворота не учитываются	2006–2012	0,1777	0,1858	0,0208
2. Точка поворота 2009 г.	2006–2008	0,2037	0,1979	0,0108
	2009–2012		0,2339	



а



б

Рис. 3. ВВП и потребление Финляндии в 2006–2015 гг. в постоянных ценах, расчетный период 2006–2012 гг.: а — устойчивое развитие — калибровка по трем параметрам (A_0, δ, Δ); б — развитие с учетом одной точки поворота — калибровка по четырем параметрам ($A_0, \delta_0, \delta_1, \Delta$).

Примечание. — траектории, полученные в результате имитации; — — — — средняя расчетная траектория и границы 50%-й доверительной области; —●— — статистические данные за 2006–2012 гг.; —○— — статистические данные за 2013–2015 гг. (для оценки прогноза).

На рис. 3, а представлены траектории ВВП и потребления для экономики Финляндии, рассчитанные согласно модели (3) со значениями параметров, полученными по первому варианту расчетов. На рис. 3, б показаны траектории ВВП и потребления Финляндии, полученные при использовании второго варианта значений параметров модели, который учитывает наличие в рассматриваемом периоде точки поворота, связанной с глобальным экономическим кризисом 2008–2009 гг. Средняя расчетная траектория построена по 2500 траекториям, полученным в процессе имитационных расчетов.

Для оценки качества прогноза в текущих ценах с учетом влияния неизвестных факторов предлагается в процессе решения задачи (8) корректировать полученные

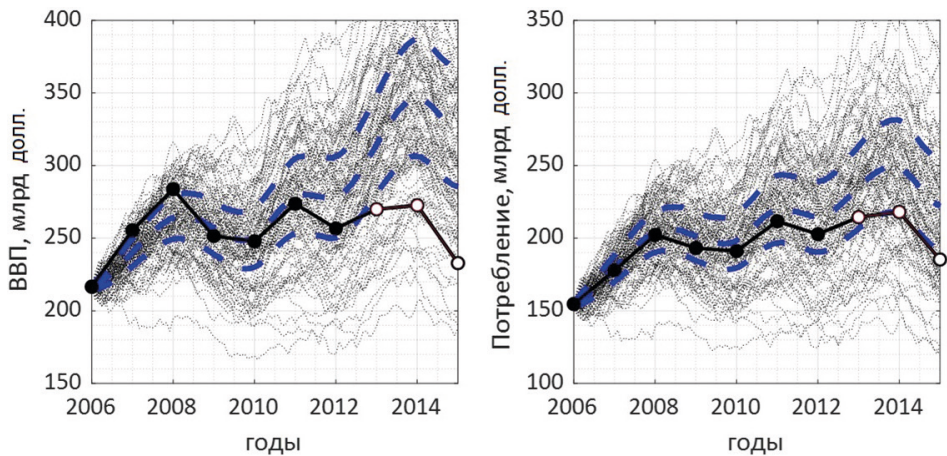
траектории на основе соотношения ВВП и потребления в постоянных ценах 2010 г. В работе для этого использован следующий прием. По известным статистическим значениям макроэкономического показателя в постоянных ценах 2010 г. и текущих ценах вычисляется их отношение, затем полученные значения используются как узловые для решения интерполяционной задачи — построения сглаживающей функции. Это обеспечивает возможность, во-первых, вычислять промежуточные значения функции «корректировки» (на каждом шаге по времени), во-вторых, реализовать с помощью экстраполяции возможность получения значений макроэкономических показателей при прогнозировании. Для решения указанной задачи интерполирования использован интерполяционный кубический сплайн со специальными граничными условиями, известными как «естественный сплайн». Такая аппроксимирующая форма удобна в вычислительном отношении и обладает необходимыми для выполняемого расчета свойствами [Алберг, Нильсон, Уолш, 1972; Булова, Демьянович, 2010].

Графики, приведенные на рис. 3, показывают, что при оценке рассматриваемых макроэкономических показателей по постоянным ценам 2010 г. учет точки поворота с помощью изменения нормы амортизации и калибровка модели по четырем параметрам позволяют улучшить качество прогноза, поскольку все три прогнозируемые значения ВВП и потребления по второму варианту не только попадают в границы 50 %-го доверительного интервала, но и средняя расчетная траектория по которой предполагается стоять прогноз, почти совпадает с графиком фактических значений ВВП и потребления (рис. 3, б). При этом в процессе расчетов с учетом трех значений параметров произошла существенная корректировка доверительного интервала, его границы поменяли свое направление и более соответствуют динамике рассматриваемых макроэкономических показателей экономики Финляндии.

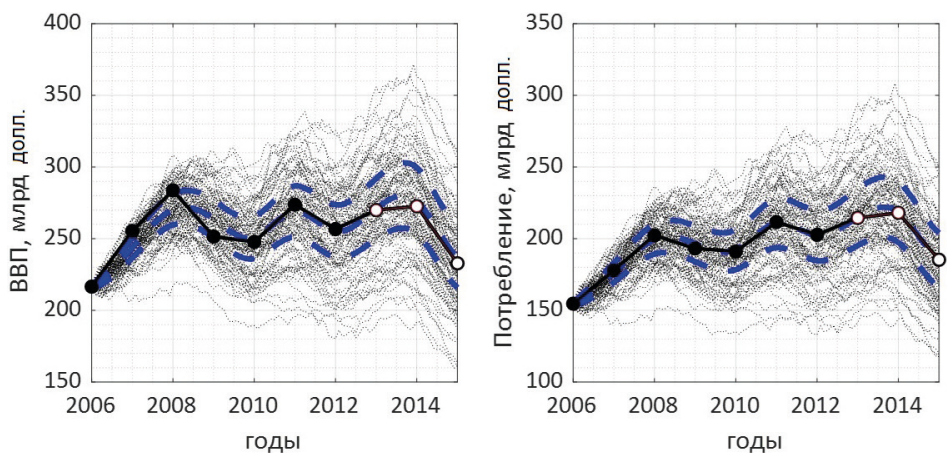
Очевидно, что, если не учитывать точку поворота, то есть если не проводить калибровку модели по четырем параметрам, предлагаемый имитационный метод прогнозирования по средней расчетной траектории дает более приближенный результат в условиях краткосрочного прогнозирования (рис. 3, а).

Рассмотрим далее прогнозы динамики ВВП и размера потребления Финляндии в текущих ценах. На рис. 4, а представлены траектории ВВП и потребления для экономики Финляндии, рассчитанные согласно модели (3) со значениями параметров, полученными по первому варианту расчетов. На рис. 4, б показаны траектории ВВП и потребления Финляндии, полученные при использовании второго варианта значений параметров модели, который учитывает наличие в рассматриваемом периоде точки поворота, связанной с глобальным экономическим кризисом 2008–2009 гг. Средняя расчетная траектория построена по 2500 траекториям, полученным в процессе имитационных расчетов.

Расчеты в текущих ценах также подтверждают, что учет точки поворота при калибровке модели по четырем параметрам позволяет приблизить среднюю расчетную траекторию к фактическим значениям соответствующих показателей за 2013–2015 гг. (рис. 4, б). Это очевидно как для фактических значений ВВП Финляндии за эти годы, который выходит за пределы построенного доверительного интервала, так и для размера потребления за этот период, фактические значения которого находятся на границе соответствующего доверительного интервала, при расчетах с учетом постоянного значения нормы амортизации капитала (рис. 4, а).



а



б

Рис. 4. ВВП и потребление Финляндии в 2006–2015 гг. в текущих ценах, расчетный период 2006–2012 гг.: а — устойчивое развитие — калибровка по трем параметрам (A_0, δ, Δ); б — развитие с учетом одной точки поворота — калибровка по четырем параметрам ($A_0, \delta_0, \delta_1, \Delta$).

Примечание. — траектории, полученные в результате имитации; — — — — средняя расчетная траектория и границы 50%-й доверительной области; —●— — статистические данные за 2006–2012 гг.; —○— — статистические данные за 2013–2015 гг. (для оценки прогноза).

Далее рассмотрим страны, экономика которых пережила на немного более длительном периоде несколько точек поворота. Вначале выполним расчеты по анализу и прогнозированию макроэкономических показателей Кипра в период 2007–2019 гг. Выбор страны и периода обусловлен тем, что в указанный период на динамику показателей экономики Кипра оказали влияние не только глобальный кризис 2009 г. и мировой финансовый кризис 2015–2016 гг., но и финансовый кризис 2012–2013 гг. на Кипре. В указанный период можно выделить три точки поворота в динамике макроэкономических показателей — 2009, 2014 и 2015 гг. — учитывая значения ВВП, которые приведены в табл. 6.

Таблица 6. Макроэкономические показатели Кипра за 2007–2019 гг., млрд долл.

Год	ВВП		Потребительские расходы	
	Текущие цены	Постоянные цены 2010 г.	Текущие цены	Постоянные цены 2010 г.
2007	23,9688	24,8373	19,2651	20,1953
2008	27,8447	25,7430	23,3357	21,7763
2009	25,9454	25,2242	21,3977	20,9250
2010	25,7324	25,7324	21,6966	21,6966
2011	27,5655	25,8357	23,4032	21,6229
2012	24,9785	24,9452	21,4091	21,0440
2013	23,9009	23,3105	20,4339	19,6738
2014	23,1569	22,8841	19,7983	19,3287
2015	19,8424	23,6207	16,6091	19,8232
2016	20,9534	25,1414	16,9440	20,5868
2017	22,7292	26,4374	18,2411	21,4738
2018	25,3098	27,8229	20,2330	22,4263
2019	24,9489	28,6784	20,2506	23,3730

Составлено по: Indicators. URL: <https://data.worldbank.org/indicator/> (дата обращения: 08.05.2021).

Результаты расчетов числовых параметров модели даны в табл. 7. В первом варианте калибровка модели осуществлялась по упрощенному методу, учитывающему три числовых параметра: (A_0, δ, Δ) , — что соответствует предположению о постоянстве нормы амортизации капитала δ на всем периоде калибровки. По второму варианту были выделены три точки поворота динамики макроэкономических показателей Кипра за период 2007–2016 гг. (табл. 6): в 2008–2009 гг. — связанная с глобальным экономическим кризисом; в 2012–2013 гг. — обусловленная финансовым кризисом в Республике Кипр; в 2015 г. — определяемая мировым экономическим кризисом 2014–2015 гг. Каждая точка поворота характеризовалась скачкообразным изменением нормы амортизации капитала: периоду до 2009 г. соответствовало значение δ ; периоду между 2009 и 2013 г. — значение δ_1 ; периоду между 2013 и 2015 г. — значение δ_2 ; периоду после 2015 г. — значение δ_3 . Таким образом, калибровка осуществлялась по шести параметрам: $A_0, \delta_0, \delta_1, \delta_2, \delta_3, \Delta$. Результаты расчетов числовых параметров модели даны в табл. 7.

Таблица 7. Параметры модели для Кипра, период калибровки 2007–2016 гг.

Вариант расчета	Период использования параметров	Числовые параметры модели		
		A_0	δ	Δ
1. Точки поворота не учитываются	2007–2016	0,1337	0,1415	0,0214
2. Точки поворота 2009, 2013, 2015 гг.	2007–2008	0,1551	0,1445	0,0248
	2009–2012		0,2017	
	2013–2014		0,1991	
	2015–2016		0,1792	

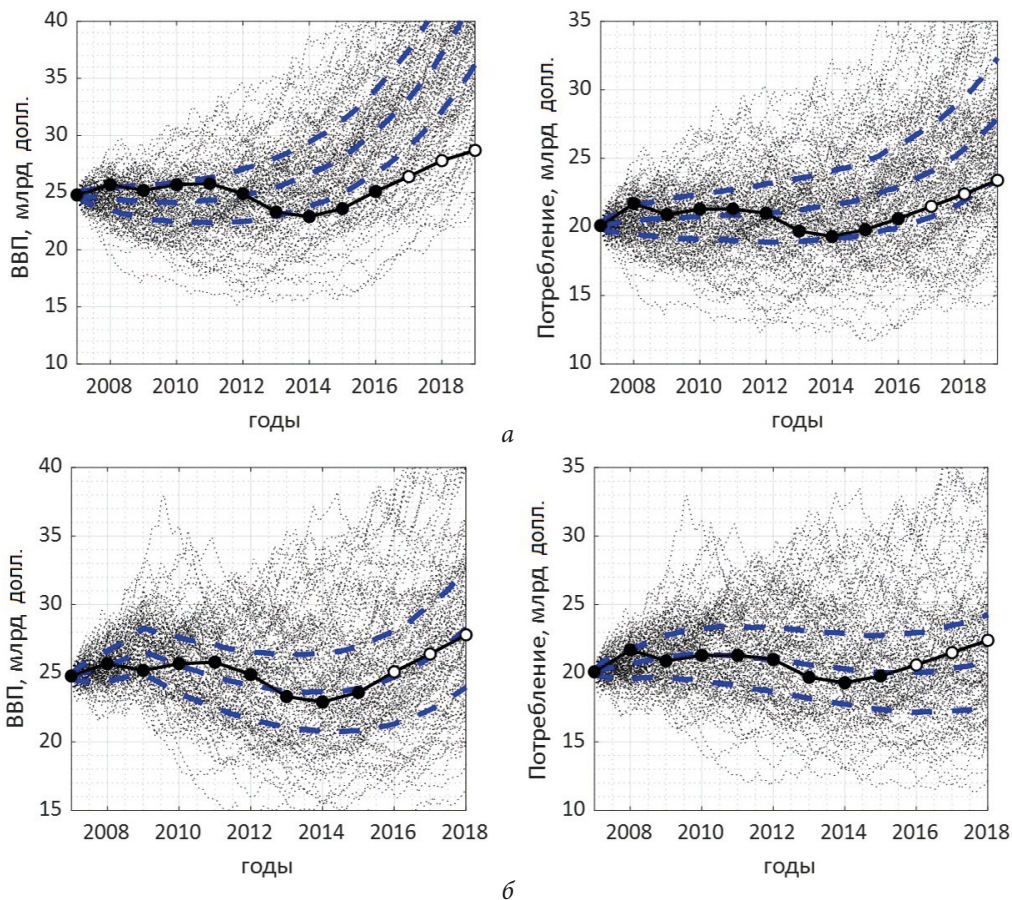


Рис. 5. ВВП и потребление Республики Кипр в постоянных ценах 2010 г., расчетный период 2007–2015 гг.: а — устойчивое развитие — калибровка модели по трем параметрам (A_0 , δ , Δ); б — развитие учитывающее три точки поворота 2009, 2013, 2015 гг. — калибровка модели по шести параметрам (A_0 , δ_0 , δ_1 , δ_2 , δ_3 , Δ).

Примечание. — траектории, полученные в результате имитации; — — — — средняя расчетная траектория и границы 50%-й доверительной области; —●— — статистические данные за 2007–2015 гг.; —○— — статистические данные за 2017–2019 гг. (для оценки прогноза).

Результаты расчетов в режиме имитации ВВП и объема потребления Кипра по обоим вариантам числовых параметров, полученных в процессе калибровки модели (3), представлены на рис. 5. При этом рис. 5, а содержит траектории указанных показателей за рассматриваемый период без учета точек поворота. Средняя расчетная траектория по-прежнему построена по 2500 траекториям, полученным в процессе имитационных расчетов. На рис. 5, а показано, что фактический ВВП выходит за пределы 50%-го доверительного интервала на всем периоде прогнозирования 2027–2019 гг., а фактический размер потребления за этот период располагается почти на границе соответствующего доверительного интервала (рис. 5, б), что свидетельствует о низком качестве обоих прогнозов.

Проанализируем динамику ВВП и потребления Кипра и построим прогноз ВВП и потребления в текущих ценах. Результаты расчетов в режиме имитации представ-

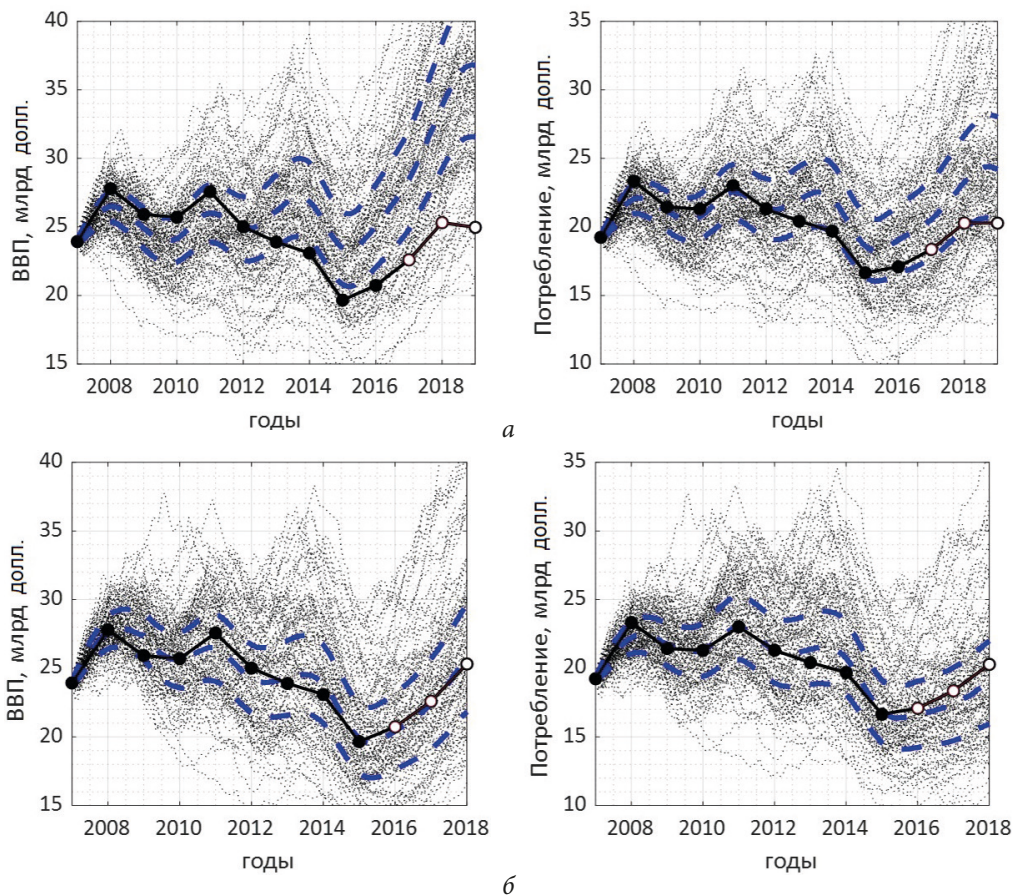


Рис. 6. ВВП и потребление Республики Кипр в текущих ценах, расчетный период 2007–2015 гг.: а — устойчивое развитие — калибровка модели по трем параметрам (A_0, δ, Δ); б — развитие, учитывающее три точки поворота 2009, 2013, 2015 гг. — калибровка модели по шести параметрам ($A_0, \delta_0, \delta_1, \delta_2, \delta_3, \Delta$).

Примечание. — траектории, полученные в результате имитации; — — — — средняя расчетная траектория и границы 50%-й доверительной области; —●— — статистические данные за 2007–2015 гг.; —○— — статистические данные за 2017–2019 гг. (для оценки прогноза).

лены на рис. 6. Как и выше, выполнены расчеты 2500 траекторий в процессе имитационных расчетов и построена средняя расчетная траектория и 50%-й доверительный интервал. Как показано на рис. 6, а, фактический объем ВВП Республики Кипр существенно вышел за пределы 50%-го доверительного интервала в 2016–2018 гг. Размер потребления в этот период располагается почти на границе соответствующего доверительного интервала. Это позволяет сделать вывод о том, что прогнозы указанных показателей в условиях использования только трех числовых параметров не надежны. Построение прогноза ВВП Кипра с учетом выделения трех точек поворота и использования в расчетах значений шести числовых параметров модели (3) позволило существенно приблизить среднюю расчетную траекторию ВВП в текущих ценах к фактическим значениям этого показателя за 2016–2018 гг. Из рис. 6, б также следует, что можно было рассмотреть и более узкий доверительный интервал, что

также повысило бы качество прогноза. Для размера потребления в текущих ценах отклонение средней расчетной траектории от фактических значений этого показателя на периоде 2016–2018 гг. больше, чем получено для ВВП, но фактические значения потребления остаются в пределах 50 %-го доверительного интервала.

Аналогичный расчет был выполнен для макроэкономических показателей Японии за период 2007–2019 гг. Значения рассматриваемых макроэкономических показателей приведены в табл. 8.

Таблица 8. Макроэкономические показатели Японии за 2007–2019 гг., млрд долл.

Год	ВВП		Потребительские расходы	
	Текущие цены	Постоянные цены 2010 г.	Текущие цены	Постоянные цены 2010 г.
2007	23,9688	24,8373	19,2651	20,1953
2008	27,8447	25,7430	23,3357	21,7763
2009	25,9454	25,2242	21,3977	20,9250
2010	25,7324	25,7324	21,6966	21,6966
2011	27,5655	25,8357	23,4032	21,6229
2012	24,9785	24,9452	21,4091	21,0440
2013	23,9009	23,3105	20,4339	19,6738
2014	23,1569	22,8841	19,7983	19,3287
2015	19,8424	23,6207	16,6091	19,8232
2016	20,9534	25,1414	16,9440	20,5868
2017	22,7292	26,4374	18,2411	21,4738
2018	25,3098	27,8229	20,2330	22,4263
2019	24,9489	28,6784	20,2506	23,3730

Составлено по: Indicators. URL: <https://data.worldbank.org/indicator/> (дата обращения: 08.05.2021).

Были выполнены два варианта калибровки модели (3) по данным экономики Японии на основе задачи (8). В первом варианте калибровка модели осуществлялась по трем параметрам: (A_0, δ, Δ) , — что соответствует предположению о постоянстве нормы амортизации капитала δ на всем периоде калибровки. По второму варианту калибровки модели учитывались три точки поворота для экономики Японии в период 2007–2019 гг.: первая связана с глобальным экономическим кризисом 2008–2009 гг.; вторая — с тройной катастрофой в 2011 г. (мощным землетрясением, цунами и аварией на АЭС «Фукусима»); третья — с падением азиатских фондовых рынков в 2015 г. Предполагалось, что каждая из указанных точек поворота характеризовалась скачкообразным изменением нормы амортизации капитала: периоду до 2009 г. соответствовало значение δ_0 ; периоду между 2009 и 2011 г. — значение δ_1 ; периоду между 2011 и 2015 г. — значение δ_2 ; периоду после 2015 г. — значение δ_3 . В результате калибровки получены следующие значения числовых параметров модели (3) для экономики Японии (табл. 9).

Рассмотрим вначале имитационные расчеты ВВП и потребления Японии с учетом постоянных цен. Результаты расчетов по обоим вариантам числовых параметров, полученных в процессе калибровки модели (3), представлены на рис. 7. Как и ранее, выполнены расчеты 2500 траекторий в процессе имитационных расчетов и построена средняя расчетная траектория и 50 %-й доверительный интервал.

Таблица 9. Параметры модели для Японии, период калибровки 2007–2016 гг.

Вариант расчета	Период использования параметров	Числовые параметры модели		
		A_0	δ	Δ
1. Точки поворота не учитываются	2007–2016	0,1693	0,1844	0,0202
2. Точки поворота 2009, 2012, 2015 гг.	2007–2008	0,2037	0,2643	0,0061
	2009–2011		0,1405	
	2012–2014		0,1784	
	2015–2016		0,2164	

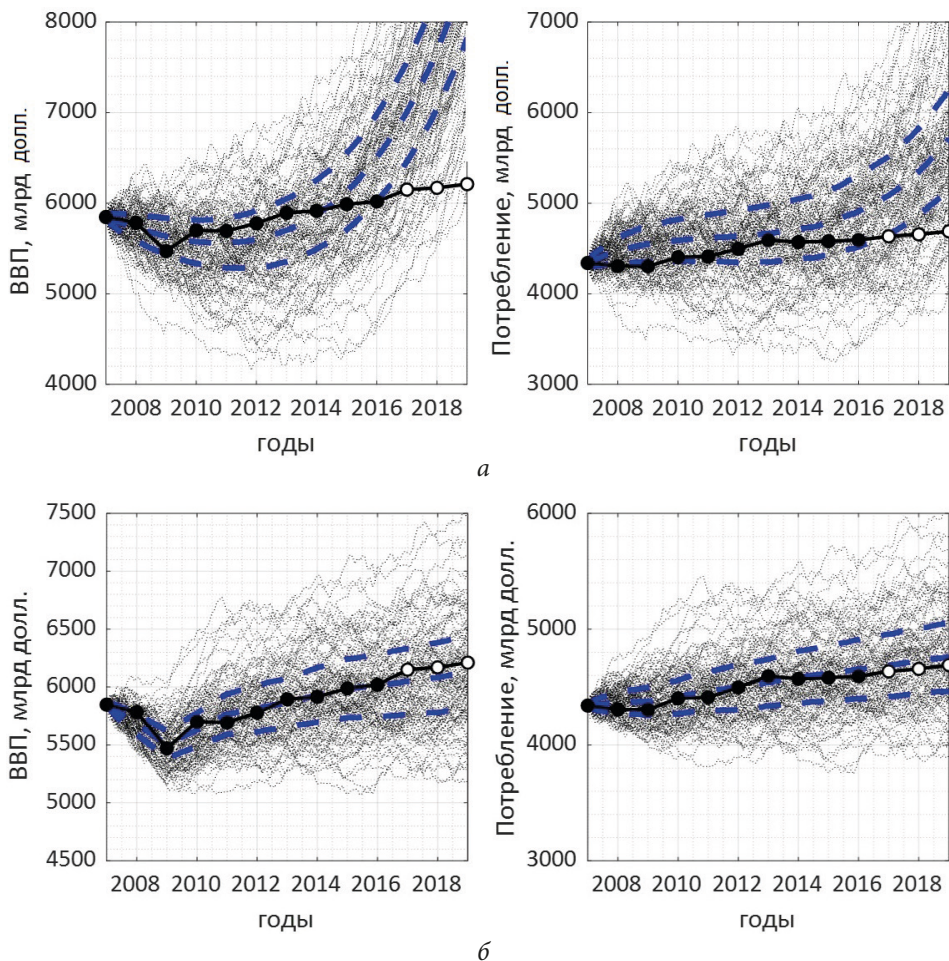


Рис. 7. ВВП и потребление Японии в постоянных ценах 2010 г. в 2007–2019 гг., расчетный период 2007–2016 гг.: а — устойчивое развитие — калибровка модели по трем параметрам (A_0 , δ , Δ); б — развитие, учитывающее три точки поворота 2009, 2011, 2015 гг. — калибровка модели по шести параметрам (A_0 , δ_0 , δ_1 , δ_2 , δ_3 , Δ).

Примечание. — траектории, полученные в результате имитации; — — — — средняя расчетная траектория и границы 50 %-й доверительной области; —●— — статистические данные за 2007–2016 гг.; —○— — статистические данные за 2017–2019 гг. (для оценки прогноза).

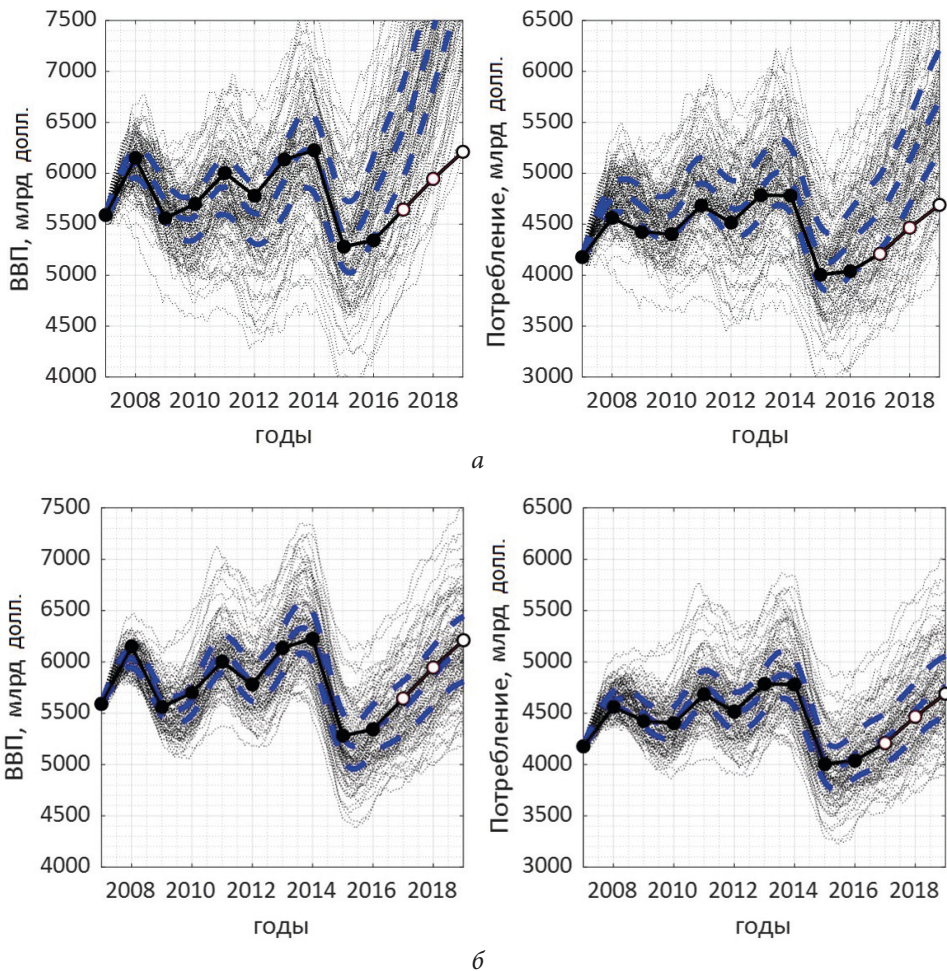


Рис. 8. ВВП и потребление Японии в текущих ценах в 2007–2019 гг., период калибровки 2007–2016 гг.; расчетный период 2007–2016 гг.: а — устойчивое развитие — калибровка модели по трем параметрам (A_0 , δ , Δ); б — развитие, учитывающее три точки поворота 2009, 2011, 2015 гг. — калибровка модели по шести параметрам (A_0 , δ_0 , δ_1 , δ_2 , δ_3 , Δ).

Примечание. — траектории, полученные в результате имитации; — — — — средняя расчетная траектория и границы 50%-й доверительной области; —●— — статистические данные за 2007–2016 гг.; —○— — статистические данные за 2017–2019 гг. (для оценки прогноза).

Рис. 7, а содержит траектории указанных показателей в постоянных ценах за рассматриваемый период без учета точек поворота. Очевидно, что и для ВВП, и для потребления Японии в данном случае фактический график указанных показателей в 2017–2019 гг. выходит за пределы 50%-го доверительного интервала. Это в очередной раз доказывает, что без учета точек поворота, или, что то же самое, без корректировки числовых параметров модели с учетом этих точек поворота прогноз имеет неудовлетворительный характер. Графики на рис. 7, б показывают, что учет выполненных корректировок нормы амортизации существенно улучшает качество прогноза в данном случае. Фактический график указанных показателей

в 2017–2019 гг. располагается в пределах 50 %-го доверительного интервала, относительно близко к средней расчетной траектории.

Аналогичные результаты получены при учете ВВП и потребления Японии в текущих ценах (рис. 8). Для варианта 1 графики на рис. 8, а показывают существенное смещение фактических значений ВВП и потребления Японии в текущих ценах относительно средней расчетной траектории за период калибровки 2007–2016 гг., а также выход фактических значений указанных показателей в 2017–2019 гг. за пределы 50 %-го доверительного интервала.

Учет указанных точек поворота в процессе калибровки модели и построение прогноза развития динамики ВВП и потребления для Японии на 2017–2019 гг. (рис. 8, б) показывают, что, как и для рассмотренных выше примеров прогнозирования экономики Финляндии и Кипра, учет трех точек поворота с помощью корректировки нормы амортизации капитала в процессе калибровки модели (3) позволил существенно улучшить качество прогнозирования. Фактические значения за период прогнозирования попадают в 50 %-й доверительный интервал. К ним существенно приближается средняя расчетная траектория, полученная в процессе имитационных расчетов (рис. 8, б).

В целом выполненные расчеты и построенные графики показали, что косвенный учет точек поворота с помощью изменения нормы амортизации капитала для всех трех рассмотренных стран позволил улучшить качество прогноза на выбранном периоде прогнозирования.

Заключение

Прогнозирование развития макроэкономических процессов предполагает два принципиально различных подхода к формированию сценариев будущего развития экономики. Во-первых, можно рассматривать так называемый инерционный, или эволюционный сценарий, который предполагает, что будущие изменения в экономике происходят в пределах определенной тенденции и соответствующие случайные факторы лишь порождают колебания вокруг средней тенденции. Второй подход опирается на то, что в будущем случайные факторы или шоковые переменные окажут существенное влияние на изменение этой тенденции, а также на то, что в будущем неизвестные или случайные факторы определяют кардинальное изменение текущей динамики макроэкономических показателей, и предполагает появление будущих точек поворота, в которых проявится существенное влияние на изменение этой тенденции.

При этом под точкой поворота тенденции рассматриваемого макроэкономического показателя понимается короткий период времени, когда наблюдаемая тенденция развития этого показателя резко меняется. Ее появление определяется будущими случайными событиями, мировыми экономическими кризисами, природно-климатическими явлениями и т. п.

Проблемы обоснования индикаторов точек поворота в настоящее время носят дискуссионный, незаконченный характер, и эти индикаторы по-разному проявляются в время кризисов в различных странах. В качестве таких индикаторов можно рассматривать изменения динамики ВВП, цены на нефть, показатели фондовых рынков и т. п. в зависимости от имеющихся возможностей и поставленной задачи. С прак-

тической точки зрения речь идет об учете оперативных текущих данных в процессе наукастинга или формировании будущих ожиданий о возможном кризисном развитии событий. В любом случае необходимо провести калибровку рассматриваемой модели прогнозирования с учетом поступающих или ожидаемых данных.

Калибровка модели опирается на обоснование тех периодов времени — точек поворота, — когда возникает резкая смена тенденции развития рассматриваемых макроэкономических показателей. В процессе расчетов в режиме имитации необходимо обеспечить соответствие расчетных результатов и фактических траекторий развития экономики. Одновременно это позволяет оперативно корректировать прогноз рассматриваемого макроэкономического показателя, принимая во внимание новые появившиеся данные о развитии экономики. Калибровка модели направлена на улучшение характеристик формируемого прогноза, что позволяет преодолеть инерционность сценария прогнозирования, означающую сохранение прошлой тенденции в будущих периодах, и обеспечить возможности эволюционного сценария прогнозирования. При этом совершенно исключаются проверки различных статистических гипотез о стационарности ряда, автокорреляции, гипотез о равенстве нулю коэффициентов уравнений регрессии и т. п. Калибровку модели в принципе можно проводить экспериментальным путем, определяя в процессе исследования значения числовых параметров рассматриваемых уравнений модели таким образом, чтобы обеспечить попадание фактических траекторий макроэкономических показателей в 50%-й или иной выбранный доверительный интервал на рассматриваемом периоде калибровки. Возможно применение для калибровки модели специальных оптимизационных методов, позволяющих проводить калибровку с учетом выбранного критерия. В общем случае предлагается переход от индикаторов точек поворота к преобразованию числовых параметров модели, которые позволяют обеспечить повышение качества прогноза в режиме имитации.

Рассматриваемая норма амортизации капитала как один из числовых параметров модели роста не является напрямую индикатором той или иной точки поворота, а служит специальной формой, позволяющей учесть влияние точек поворота на построение прогнозов макроэкономических показателей.

Результаты имитационных расчетов по данным экономики трех стран — Финляндии, Кипра и Японии — показали, что если не учитывать точки поворота динамики макроэкономических показателей и сохранять на всем периоде калибровки модели постоянные значения числовых параметров, то построенная в режиме имитации средняя расчетная траектория на выбранном периоде прогнозирования существенно отклоняется от фактических значений ВВП и потребления в текущих и постоянных ценах 2010 г., которые выходят за пределы 50%-го доверительного интервала, что говорит о низком качестве прогноза в данном случае.

В качестве индикатора точек поворота динамики ВВП и потребления для указанных стран были использованы резкие изменения ВВП на рассматриваемом периоде, для косвенного учета этих точек в процессе имитационных расчетов — различные значения нормы амортизации капитала на выделенных подпериодах инерционного развития.

Для экономики этих же трех стран было показано, что при измерении ВВП и потребления в текущих и постоянных ценах учет точек поворота с помощью кор-

ректировки нормы амортизации капитала в процессе калибровки модели (3) и выполнения расчетов в режиме имитации позволил существенно улучшить качество прогнозирования. Можно считать, что основная гипотеза исследования получила свое экспериментальное подтверждение.

В статье было рассмотрено применение только одного числового параметра модели — нормы амортизации капитала — для косвенного учета возможных или ожидаемых точек поворота тенденции динамики макроэкономических показателей. В принципе, возможно использование для подобных целей двух или более числовых параметров модели, но, во-первых, это предполагает постановку более сложных моделей экономического роста с увеличенным числом факторов и расширенным множеством числовых параметров; во-вторых, это одновременно приводит к ряду существенных технических проблем реализации рассматриваемого алгоритма, связанных с ограничением числа учитываемых числовых параметров; в-третьих, предполагает содержательный экономический анализ возможных форм отражения рассматриваемых точек поворота в той или иной системе числовых параметров модели.

Предложенный метод прогнозирования динамики ВВП и размера потребления с учетом точек поворота носит экспериментальный характер, предложение об учете колебаний динамики макроэкономических показателей на основе индикаторов в форме изменения тех или иных числовых параметров, как и определение подобных параметров, требует содержательного обоснования. Предлагаемый метод калибровки модели на основе решения задачи (8) налагает существенные ограничения на число рассматриваемых числовых параметров. Применение этого метода для более сложных моделей экономического роста, предполагающих возможное увеличение числа параметров модели, послужит авторам предметом дальнейшего исследования.

Литература

- Алберг Дж., Нильсон Э., Уолш Дж. (1972) *Теория сплайнов и ее приложения*. М.: Мир. 319 с.
- Бурова И.Г., Демьянович Ю.К. (2010) *Минимальные сплайны и их приложения*. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та. 364 с.
- Васильев Ф.П. (1988) *Численные методы решения экстремальных задач*. М.: Наука. 552 с.
- Воронцовский А.В., Вьюненко Л.Ф. (2016) Прогнозирование развития экономики на основе стохастической модели экономического роста с учетом точки поворота. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 5. Экономика*. Вып. 4. С. 4–32.
- Воронцовский А.В., Вьюненко Л.Ф. (2017) Прогнозирование индексов реальных эффективных обменных курсов валют с учетом случайного фактора. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика*. Вып. 4. С. 522–549.
- Граничин О.Н. (2003) *Введение в методы стохастической оптимизации и оценивания*. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та. 131 с.
- Доугерти К. (2004) *Введение в эконометрику*. Учебник. 2-е изд. Пер. с англ. М.: ИНФРА-М. 418 с.
- Жемков Д. (2021) *Краткосрочная оценка ВВП России методом комбинирования прогнозов*. URL: <https://cbr.ru/StaticHtml/File/118606/wp-feb21.pdf> (дата обращения: 10.07.2021).
- Сток Дж., Уотсон М. (2015) *Введение в эконометрику*. Пер. с англ. М.: Долл. 864 с.
- Anesti N., Galvao A. B., Miranda-Agrippino S. (2018) Uncertain Kingdom: Nowcasting GDP and its Revisions. *CFM Discussion Paper Series (CFM-DP2018-24)*. Centre for Macroeconomics, London School of Economics and Political Science. London, UK. 54 p.
- Angelini E., Cambia-Mendez G., Giannone D., Reichlin L., Rustler G. (2011) Short-term forecasts of euro area GDP growth. *The econometric journal*, vol. 14, iss. 1, pp. 25–44.

- Bañbura M., Giannone D., Modugno M., Reichlin L. (2013) “Now-Casting and the Real-Time Data Flow” in Elliott G., Timmermann A. (eds) *Handbook of Economic Forecasting*. Vol. 2A. Amsterdam; Boston; Heidelberg: North Holland, pp. 195–237.
- Bhattacharya R., Chakravarti P., Mundle S. (2019) Forecasting India’s economic growth: a time-varying parameter regression approach. *Macroeconomics and finance in emerging market economies*, vol. 12, iss. 3, pp. 205–228.
- Bragoli D., Fosten J. (2018) Nowcasting Indian GDP. *Oxford bulletin of economics and statistics*, vol. 80, iss. 2, pp. 259–282.
- Clements M. P., Galvão A. B. (2008) Macroeconomic Forecasting With Mixed-Frequency Data: Forecasting Output Growth in the United States. *Journal of business & economic statistics*, vol. 26, iss. 4, pp. 546–554.
- Cook T. R., Smalter Holl A. (2017) *Macroeconomic indicator forecasting with deep neural networks*. Federal Reserve Bank of Kansas City. Research Working Paper 17–11, September. 29 p.
- Fuleky P. (2019) *Macroeconomic Forecasting in the Era of Big Data: Theory and Practice*. Cham, Springer International Publishing AG. 719 p.
- Gajewski P. (2014) Nowcasting Quarterly GDP Dynamics in the Euro Area — The Role of Sentiment Indicators. *Comparative economic research. Central and Eastern Europe*, vol. 17, iss. 2, pp. 5–23.
- Ghysels E., Hill Ch., Massimiliano M. (2018) *Applied economic forecasting using time series methods*. New York, Oxford University Press. 597 p.
- Gouriéroux Chr., Monfort A. (2002) *Simulation-based econometric methods*. Oxford, Oxford University Press. 174 p.
- Giannone D., Reichlin L., Small D. (2008) Nowcasting: The real-time informational content of macroeconomic data. *Journal of monetary economics*, vol. 55, iss. 4, pp. 665–676.
- Hristov N., Roth M. (2019) *Uncertainty shocks and financial crisis indicators*. Frankfurt a. M., Deutsche Bundesbank. Discussion paper. 37 p.
- Knotted E. S., Zaman S. (2017) Financial Nowcasts and Their Usefulness in Macroeconomic Forecasting. Federal Reserve Bank of Cleveland. *Working Paper* (March), vol. 17, iss. 2, pp. 1–88.
- Kočenda Ev., Poghosyan K. (2020) Nowcasting Real GDP Growth: Comparison between Old and New EU Countries. *Eastern European economics*, vol. 58, iss. 3, pp. 197–220.
- Louzis D. P. (2019) Steady-state modeling and macroeconomic forecasting quality. *Journal of applied econometrics*, vol. 34, iss. 2, pp. 285–314.
- Miglietta A., Venditti F. (2019) *An indicator of macro-financial stress for Italy*. Questioni di economia e finanza (Occasional Papers), Bank of Italy, Economic Research and International Relations Area, no. 497. 28 p.
- Rossi B., Sekhposyan T. (2011) Understanding models’ forecasting performance. *Journal of econometrics*, vol. 164, iss. 1, pp. 158–172.
- Shavshukov V. M., Vorontsovsky A. V., Vyunenko L. F. (2018) Analyzing dynamics and forecasting real effective exchange rates for BRICS countries (1994–2016). *St Petersburg University Journal of Economic Studies*, vol. 34, iss. 4, pp. 568–590.
- Sondermann D., Zorell N. (2019) A macroeconomic vulnerability model for the euro area Frankfurt am Main, *European Central Bank. Working paper series*, no 2306 (August). 40 p.
- Song M., Shin K.-Sh. (2019) Forecasting economic indicators using a consumer sentiment index: Survey-based versus text-based data. *Journal of forecasting*, vol. 38, iss. 6, pp. 504–518.
- Tkacz Gr. (2013) *Macroeconomic forecasting*. London, Routledge. 288 p.

Статья поступила в редакцию: 13.09.2021
Статья рекомендована в печать: 21.10.2021

Контактная информация:

Воронцовский Алексей Владимирович — д-р экон. наук, проф.; a.vorontsovskii@spbu.ru
Вьюненко Людмила Федоровна — канд. физ.-мат. наук; доц.; l.vyunenko@spbu.ru

Forecasting economic development taking into account several turning points: Indicators, model calibration, simulation computations

A. V. Vorontsovskiy, L. F. Vyunenko

St. Petersburg State University,
7–9, Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russian Federation

For citation: Vorontsovskiy A. V., Vyunenko L. F. (2021) Forecasting economic development taking into account several turning points: Indicators, model calibration, simulation computations. *St Petersburg University Journal of Economic Studies*, vol. 37, iss. 4, pp. 513–545. <https://doi.org/10.21638/spbu05.2021.401> (In Russian)

The article considers the possibility of constructing forecasts for macroeconomic indicators taking into account the turning points in their dynamics trends. The calculations are performed on the base of a discrete approximation for the constraints of a simple economic growth stochastic model using the Monte Carlo method. In the first part, the authors analyze the problems of justifying turning point indicators and show that there is no single approach to their definition. Changes in GDP, oil prices and other indicators often serve as such indicators. In the second part, the authors propose to relate turning points to a change in the value of one of the numerical parameters of the growth model under consideration — the capital depreciation rate. To determine the parameters of the model, a special calibration procedure is proposed, based on solving the optimization problem according to the criterion of the minimum discrepancy between the average calculated and actual trajectories of GDP and Consumption over the calibration period. In the third part, experimental simulations are performed taking into account turning points according to the data of the economies of Finland, Cyprus and Japan. Three turning points are allocated for Cyprus and Japan, and one for Finland. Forecasts of the GDP and Consumption dynamics for these countries at current and constant prices of 2010 are constructed. For all three countries under consideration, the results of simulations show that indirect accounting of turning points by amendment of the capital depreciation rate allows significantly improving the quality of forecasts based on the average calculated trajectory, taking into account the specified confidence interval for the selected forecast period.

Keywords: forecasting of macroeconomics, stochastic growth models, discrete approximation, turning point indicators, capital depreciation rate, model calibration, simulation, GDP, consumption.

References

- Ahlberg J., Nilson E., Walsh J. (1972) *Spline theory and its applications*. Moscow, Mir Publ. 319 p. (In Russian)
- Anesti N., Galvao A. B., Miranda-Agrippino S. (2018) Uncertain Kingdom: Nowcasting GDP and its Revisions. *CFM Discussion Paper Series (CFM-DP2018-24)*. Centre for Macroeconomics, London School of Economics and Political Science. London, UK. 54 p.
- Angelini E., Cambia-Mendez G., Giannone D., Reichlin L., Rustler G. (2011) Short-term forecasts of euro area GDP growth. *The econometric journal*, vol. 14, iss. 1, pp. 25–44.
- Bañbura M., Giannone D., Modugno M., Reichlin L. (2013) “Now-Casting and the Real-Time Data Flow” in Elliott G., Timmermann A. (eds) *Handbook of Economic Forecasting*. Vol. 2A. Amsterdam; Boston; Heidelberg: North Holland, pp. 195–237.
- Bhattacharya R., Chakravarti P., Mundle S. (2019) Forecasting India’s economic growth: a time-varying parameter regression approach. *Macroeconomics and finance in emerging market economies*, vol. 12, iss. 3, pp. 205–228.

- Bragoli D., Fosten J. (2018) Nowcasting Indian GDP. *Oxford bulletin of economics and statistics*, vol. 80, iss. 2, pp. 259–282.
- Burova I. G., Dem'yanovich Yu. K. (2010) *Minimal splines and their applications*. St. Petersburg, St. Petersburg University Press. 364 p. (In Russian)
- Clements M. P., Galvão A. B. (2008) Macroeconomic Forecasting With Mixed-Frequency Data: Forecasting Output Growth in the United States. *Journal of business & economic statistics*, vol. 26, iss. 4, pp. 546–554.
- Cook T. R., Smalter Holl A. (2017) *Macroeconomic indicator forecasting with deep neural networks*. Federal Research Bank of Kansas City. Research Working Paper 17–11, September. 29 p.
- Dougerti K. (2004) *Introduction to Econometrics: Textbook*. 2nd ed. Transl. from English. Moscow, INFRA-M Publ. 418 p. (In Russian)
- Fuleky P. (2019) *Macroeconomic Forecasting in the Era of Big Data: Theory and Practice*. Cham, Springer International Publishing AG. 719 p.
- Gajewski P. (2014) Nowcasting Quarterly GDP Dynamics in the Euro Area — The Role of Sentiment Indicators. *Comparative economic research. Central and Eastern Europe*, vol. 17, iss. 2, pp. 5–23.
- Ghysels E., Hill Ch. Massimiliano M. (2018) *Applied economic forecasting using time series methods*. New York, Oxford University Press. 597 p.
- Giannone D., Reichlin L., Small D. (2008) Nowcasting: The real-time informational content of macroeconomic data. *Journal of monetary economics*, vol. 55, iss. 4, pp. 665–676.
- Gouriéroux Chr., Monfort A. (2002) *Simulation-based econometric methods*. Oxford [u.a.], Oxford University Press. 174 p.
- Granichin O.N. (2003) *Introduction to stochastic optimization and estimation methods*. St. Petersburg, St. Petersburg University Press. 131 p. (In Russian)
- Hristov N., Roth M. (2019) *Uncertainty shocks and financial crisis indicators*. Frankfurt a. M., Deutsche Bundesbank. Discussion paper. 37 p.
- Knotted E. S., Zaman S. (2017) Financial Nowcasts and Their Usefulness in Macroeconomic Forecasting. Federal Reserve Bank of Cleveland. *Working Paper* (March), vol. 17, iss. 2, pp. 1–88.
- Kočenda Ev., Poghosyan K. (2020) Nowcasting Real GDP Growth: Comparison between Old and New EU Countries. *Eastern European economics*, vol. 58, iss. 3, pp. 197–220.
- Louzis D. P. (2019) Steady-state modeling and macroeconomic forecasting quality. *Journal of applied econometrics*, vol. 34, iss. 2, pp. 285–314.
- Miglietta A., Venditti F. (2019) *An indicator of macro-financial stress for Italy*. Questioni di economia e finanza (Occasional Papers), Bank of Italy, Economic Research and International Relations Area, no. 497. 28 p.
- Rossi B., Sekhposyan T. (2011) Understanding models' forecasting performance. *Journal of econometrics*, vol. 164, iss. 1, pp. 158–172.
- Shavshukov V.M., Vorontsovsky A. V., Vyunenko L. F. (2018) Analyzing dynamics and forecasting real effective exchange rates for BRICS countries (1994–2016). *St Petersburg University Journal of Economic Studies*, vol. 34, iss. 4, pp. 568–590.
- Sondermann D., Zorell N. (2019) A macroeconomic vulnerability model for the euro area Frankfurt am Main, European Central Bank. *Working paper series*, no 2306 (August), 40 p.
- Song M., Shin K.-Sh. (2019) Forecasting economic indicators using a consumer sentiment index: Survey-based versus text-based data. *Journal of forecasting*, vol. 38, iss. 6, pp. 504–518.
- Stock J., Watson M. (2015) *Introduction to Econometrics*. Transl. from English. Moscow, Doll Publ. 864 p. (In Russian)
- Tkacz Gr. (2013) *Macroeconomic forecasting*. London, Routledge. 288 p.
- Vasil'ev F. P. (1988) *Numerical methods for solving extreme problems*. Moscow, Nauka Publ. 552 p. (In Russian)
- Vorontsovskiy A. V., Vyunenko L. F. (2016) Forecasting the development of the economy based on a stochastic model of economic growth, taking into account the turning point. *Vestnik of St Petersburg University, Series 5. Economics*, no. 4, pp. 4–32. (In Russian)
- Vorontsovskiy A. V., Vyunenko L. F. (2017) Forecasting indices of real effective exchange rates of currencies taking into account a random factor. *St Petersburg University Journal of Economic Studies*, no 4, pp. 522–549. (In Russian)

Zhemkov D. (2021) *Short-term assessment of Russia's GDP by combining forecasts*. URL: <https://cbr.ru/StaticHtml/File/118606/wp-feb21.pdf> (accessed: 10.07.2021). (In Russian)

Received: 13.09.2021

Accepted: 21.10.2021

Authors' information:

Alexey V. Vorontsovskiy — Dr. Sci. in Economics, Professor; a.vorontsovskii@spbu.ru

Lyudmila F. Vyunenko — Dr. Sci. in Physics and Mathematics, Associate Professor;
l.vyunenko@spbu.ru