

Научная статья

УДК 336.7

JEL C63, G17, G51, G21, E50

DOI 10.25205/2542-0429-2024-24-4-46-76

Финансовый блок в агент-ориентированной модели экономики России

Анастасия Викторовна Ивершинь¹
Александр Анатольевич Цыплаков^{2,3}

¹ПАО Сбербанк,
Новосибирск, Россия

²Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН
Новосибирск, Россия

³Новосибирский государственный университет
Новосибирск, Россия

alexander.tsyplakov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9297-3269>
nastya.ivershin.89@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1289-2467>

Аннотация

Статья посвящена построению финансового блока в агент-ориентированной многорегиональной межотраслевой модели «затраты – выпуск» российской экономики. В модель введены в форме агентов единый коммерческий банк и Центральный банк. Для небанковских агентов разработаны алгоритмы поведения с точки зрения движения, хранения денежных средств и другой финансовой деятельности. Проведенные эксперименты подтвердили, что расширенная таким образом модель достаточно адекватно отражает поведение экономических агентов в финансовой сфере. Выполненная модификация в перспективе позволяет изучать динамические процессы, связанные с кредитованием экономики, и оценивать последствия тех или иных мероприятий кредитно-денежной политики. Открытым вопросом осталось введение в модель элементов, позволяющих отразить инфляцию издержек.

Ключевые слова

агент-ориентированное моделирование, финансовая система, банковский сектор, сбережения, кредиты, депозиты, ликвидные средства, инфляционное таргетирование

Финансирование

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 23-28-01499).

© Ивершинь А. В., Цыплаков А. А., 2024

Для цитирования

Ивершин А. В., Цыплаков А. А. Финансовый блок в агент-ориентированной модели экономики России // Мир экономики и управления. 2024. Т. 24, № 4. С. 46–76 DOI 10.25205/2542-0429-2024-24-4-46-76

Financial Block in an Agent-Based Model of the Russian Economy

Anastasiya V. Ivershin¹, Alexander A. Tsyplakov^{2,3}

¹PJSC Sberbank,
Novosibirsk, Russian Federation

²Institute of Economics and Industrial Engineering SB RAS
Novosibirsk, Russian Federation

³ Novosibirsk State University
Novosibirsk, Russian Federation

alexander.tsyplakov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9297-3269>
nastya.ivershin.89@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1289-2467>

Abstract

The article discusses development of the financial block in an agent-based multiregional inter-sectoral input-output model of the Russian economy. The model now includes a unified commercial bank and the Central Bank as agents. Behavioral algorithms were created for non-bank agents to govern fund flows, fund management, and other financial activities. The experiments confirmed that the model expanded in this way accurately enough reflects the behavior of economic agents in the financial sphere. The additions to the model will make it possible to study the dynamic processes associated with lending to the economy and to evaluate the consequences of certain monetary policy measures. An open issue remains on how to introduce into the model elements that would enable representing cost-push inflation.

Keywords

agent-based modeling, financial system, banking sector, savings, loans, deposits, liquid assets, inflation targeting

Funding

The research was supported by RSF (project No. 23-28-01499).

For citation

Ivershin A. V., Tsyplakov A. A. Financial block in an agent-based model of the Russian economy. *World of Economics and Management*, 2024, vol. 24, no. 4, pp. 46–76. (in Russ.) DOI 10.25205/2542-0429-2024-24-4-46-76

Введение

В ИЭОПП СО РАН и Новосибирском государственном университете группой исследователей ведется работа над построением агент-ориентированной много-региональной межотраслевой модели «затраты – выпуск» (АОМММ). Это вычислимая модель, в которой экономика России представлена с высокой степенью дезагрегации. В модели присутствует деление как на несколько производственных отраслей, так и на макрорегионы. Более того, эта модель относится к разряду агент-ориентированных, и поэтому в ней представлен также микроуровень – поведение отдельных агентов экономики, таких как домохозяйства и фирмы [1].

Ранее АОМММ интенсивно использовалась для моделирования государственной экономической политики (см., например, [2]). При этом анализировались в первую очередь проблемы, связанные с бюджетными процессами. В качестве инструментов государственной политики рассматривались налоги и социальные пособия. В то же время такое важное направление государственного воздействия на экономику, как кредитно-денежная политика, не рассматривалось. Одна из причин (кроме исследовательских предпочтений) состояла в том, что в текущей версии модели практически не отражен финансовый сектор.

В действующей версии АОМММ количество денег фиксировано, и все деньги, по сути, представляют собой деньги повышенной интенсивности (денежную базу). Это, конечно, не вполне адекватное представление денежной системы современной экономики. Кроме того, действующая версия не включает такие аспекты, как вклады населения в банках, кредитование производственных агентов банками и т. д. По словам Дж. Фармера и Д. Фоули, «основательная попытка понять экономику в целом с помощью агент-ориентированного моделирования потребует интеграции моделей финансового взаимодействия с моделями промышленного производства, недвижимости, государственных расходов, налогов, бизнес-инвестиций, внешней торговли и иностранных инвестиций, а также с поведением потребителей» [3, р. 686].

Следовательно, чтобы анализировать более широкий круг проблем, связанных с экономической политикой, требуется дальнейшее развитие АОМММ в направлении моделирования денежно-кредитной сферы. Кроме того, наличие финансовой составляющей позволит более адекватно представить в модели инвестиции в основной капитал и, как следствие, экономическую динамику. В связи с этим была поставлена задача дополнить модель финансовым блоком.

В статье обсуждается такое расширение АОМММ. Описаны модификации в алгоритмах поведения уже существующих агентов, связанных с их финансовой деятельностью. Также введены новые агенты – Центральный банк и единый коммерческий банк и разработаны основные правила и алгоритмы их поведения в рамках модели. В качестве основных источников информации для вновь вводимых элементов модели использовались данные Росстата, Центрального банка РФ и российских коммерческих банков, а также нормативно-правовые акты в сфере банковского регулирования.

Финансы в существующих агент-ориентированных моделях

Агент-ориентированные модели (АОМ) – это симуляционные (имитационные) модели, особенностью которых является динамическое представление поведения большого числа взаимодействующих агентов. Агенты в таких моделях – это автономные компьютерные сущности, которые могут соответствовать как отдельным людям, так и организациям. Например, в моделях банков агентами могут быть как сами банки, так и их клиенты – физические лица и нефинансовые организации. Агенты воспринимают окружающую их обстановку и исходя из своего состояния и представления о текущей ситуации действуют по заложенным в них алгоритмам поведения. Вычислимая модель отслеживает эволюцию

всего множества действующих в ней агентов и позволяет получить представление о возможных траекториях развития изучаемой системы в разных условиях (см., например, [3–5]).

Инструментарий АОМ дает возможность исследователям исходить из самых разных предположений о поведении агентов и структуре изучаемой системы. В частности, можно наделять модельных агентов как целеполагающим, так и чисто механическим или стохастическим поведением, учесть ограниченную рациональность, проактивность и т. д. Данный подход к моделированию также позволяет учесть сложную институциональную структуру, в частности, иерархические связи и сетевые взаимодействия.

Если говорить про денежно-кредитную политику, то агент-ориентированные модели в этой области можно рассматривать как альтернативу инструменту, который в настоящее время является стандартным – модели DSGE (см. [6]). В свете финансового кризиса 2007–2008 гг., который в то время не был предсказан стандартными моделями, подход DSGE подвергся критике. В частности, указывается, что, как правило, в моделях этого класса действуют агрегированные «репрезентативные» агенты, а это недопустимо огрубляет сложную систему взаимосвязей между агентами в экономике.¹

В литературе особо отмечается способность агент-ориентированных моделей учитывать разнородность агентов (см., например, [7; 8]). В частности, это может относиться к неоднородности с точки зрения финансовых потребностей – кто-то занимает, кто-то дает в долг. Имеет место разнородность финансовых организаций по их характеристикам, разнородность фирм, разнородность населения по доходам, по горизонту планирования и т. д.

В целом можно говорить о способности АОМ представлять финансовую экономику как сложную систему [3]. В качестве перспективного инструмента агент-ориентированное моделирование привлекло внимание исследовательских коллективов по всему миру. В частности, этот подход заинтересовал исследователей из таких организаций, как МВФ [9], ЦБ РФ [7; 10], Банк Англии [8].

При моделировании финансовой сферы с помощью АОМ изучались как узкие вопросы, так и более широкие вопросы денежно-кредитной политики. Например, в статье [11] моделируется эффект разрыва ликвидности и сетевые свойства при межбанковском кредитовании, в статье [7] авторы изучают вопрос о том, как сказывается на банковском секторе России проводимая Банком России политика оздоровления, выразившаяся в активном отзыве лицензий. В модели учитывается разнородность агентов – инвестиционных проектов по степени рискованности и агентов-вкладчиков по склонности к риску. В банковском секторе кроме регулятора действуют банки, разделенные на три группы: крупные, средние и малые.

Модель [10] охватывает все ключевые механизмы формирования денежной массы в России. Авторы относят модель к классу микросимуляционных (MSM) и делают акцент на таком свойстве модели, как согласованность финансовых потоков (англ. stock-flow-consistent model). Они построили с помощью своей модели вневыборочные прогнозы денежной массы и кредита в условиях различной по-

¹ Основные проблемы, характерные для моделей DSGE, подробно рассмотрены в [4].

литики ЦБ в отношении международных резервов и сравнили их с прогнозами по байесовской векторной авторегрессии.

Существует несколько так называемых макроэкономических АОМ, в которых также представлена финансовая сфера, а зачастую и производственная сфера. Термин «макроэкономические АОМ» связан с тем, что в этих моделях подчеркиваются те аспекты, которые традиционно изучаются в макроэкономике, такие как кредитно-денежная политика центрального банка, инфляция, экономические циклы, экономический рост и т. п. Одна из самых известных макроэкономических агент-ориентированных моделей – это Eurace@Unibi [12].

Поскольку модели этого класса довольно многочисленны, здесь невозможно дать их полноценный обзор. Упомянем еще только один из примеров. В [6] представлена модель, откалиброванная на экономической статистике по Австрии. В этой модели представлены большое количество секторов и миллионы агентов, действующих по простым эмпирическим правилам. Кроме домохозяйств, фирм, правительства и остального мира, в модели действуют также агенты, представляющие финансовый сектор. Это финансовые корпорации (т. е. коммерческие банки), хранящие депозиты домохозяйств и фирм и предоставляющие кредитование фирмам, и Центральный банк. Ставка ЦБ определяется по правилу Тейлора, а ставки по депозитам и кредитам связаны со ставкой ЦБ фиксированной наценкой.

Более полную информацию о публикациях отечественных и зарубежных авторов, посвященных различным подходам к агент-ориентированному моделированию финансовой системы, можно найти в работе [13]. Разного рода макроэкономические АОМ подробно рассматриваются в обзорах [4; 8; 14]. В [15] содержится обзор исследований финансовой стабильности с применением агентного подхода.

Основные характеристики российского банковского сектора

Банковскую систему Российской Федерации обычно описывают как двухуровневую. Первый уровень представлен Центральным банком Российской Федерации (Банком России), а второй уровень – коммерческими банками и другими (небанковскими) финансовыми организациями.

Центральный банк, составляющий первый уровень банковской системы России, занимает в ней ключевое место благодаря своему функциональному назначению. Это организация, которая отвечает за регулирование и надзор за всей банковской системой.²

За последнее десятилетие ЦБ РФ произвел существенные преобразования в российской банковской системе, направленные на повышение прозрачности, стабильности и эффективности. С 2015 г. Банк России перешел на режим инфляционного таргетирования [16], сформулировав ориентир по темпам инфляции в 4 %. При данном режиме денежно-кредитной политики ЦБ устанавливает уровень своей ключевой ставки исходя из среднесрочных прогнозов инфляции. Если прогнозируемая инфляция устойчиво выше ориентира, то ЦБ, как правило, снижает ключевую ставку, а если выше, то повышает. После введения инфляцион-

² Функции ЦБ РФ перечисляются в ст. 4 Федерального закона «О Центральном банке Российской Федерации (Банке России)».

ного таргетирования ЦБ РФ довольно жестко придерживался сформулированных принципов, и, в частности, без колебаний повышал ставку при неблагоприятном с точки зрения будущей инфляции развитии событий.

Еще одним методом регулирования банковского сектора является установление для банков обязательных нормативов, таких как требования к капиталу и собственному капиталу, обязательные экономические нормативы и резервы, валютный контроль и резерв на возможные потери. Норматив обязательных резервов – это размер обязательных резервов в процентном отношении к обязательствам кредитной организации. ЦБ время от времени меняет данный норматив исходя из текущей ситуации. В частности, на 01.03.2013 по рублевым обязательствам он был установлен на уровне 4,25 %, 03.03.2022 опустился до 2 % (для банков с универсальной лицензией), а с 01.08.2022 ЦБ стал опять повышать требования к обязательным резервам – до 3; 4 и 4,5 %.

Второй уровень банковской системы включает остальные кредитные организации, имеющие право (по лицензии ЦБ) осуществлять банковские операции. Основу этого уровня банковской системы составляют коммерческие банки. Коммерческие банки в России предоставляют широкий спектр финансовых услуг физическим лицам и нефинансовым организациям (предприятиям, государственным органам и т. д.). В частности, это выдача кредитов, обслуживание депозитов, обработка платежей и операции с иностранной валютой.

Банки играют важную роль в развитии любой национальной экономики, основанной на рыночных принципах, так как способствуют перераспределению финансовых ресурсов между агентами экономики на микроуровне, а также между отдельными отраслями и секторами на мезоуровне, в частности, между производственным и производственным секторами. Российская экономика не является исключением в этом отношении.

В то же время российская банковская система имеет свои особенности. В российском финансовом секторе по общей стоимости активов доминируют коммерческие банки, тогда как в мире преобладают небанковские финансовые институты (их отличают более низкие системные риски и более высокая устойчивость к внешним шокам). Также исторически российская банковская отрасль характеризуется относительно большим количеством кредитных организаций. Так, на начало 2014 г. в России насчитывалось 923 действующие кредитные организации (включая небанковские). В то же время это количество неуклонно сокращается – на начало 2024 г. в России осталась 361 действующая кредитная организация.

При этом наблюдается высокий уровень концентрации капитала и тенденция к росту этой концентрации. По состоянию на 1 января 2021 г. 60,6 % совокупных активов банковского сектора принадлежали пяти крупнейшим российским банкам. В пятерку крупнейших российских банков по размеру чистых активов входят Сбербанк (35 млрд руб.), ВТБ (16,8 млрд руб.), Газпромбанк (7,5 млрд руб.), Банк «Национальный Клиринговый Центр» (4,9 млрд руб.) и Альфа-Банк (4,6 млрд руб.). Также важной особенностью российской банковской системы является то, что в ней преобладают банки, контролируемые государством, доля которых имеет четкую тенденцию к росту (см., например, [17]).

Можно отметить также такую особенность, что в российских коммерческих банках процентный доход является доминирующим. Еще одна особенность – это то, что показатели долговой нагрузки в России значительно ниже, чем в развитых странах.

Вопросом, важным с точки зрения моделирования финансовой системы, является определение банками процентных ставок по кредитам и депозитам. Каждый коммерческий банк определяет процентные ставки по своим продуктам с учетом нескольких факторов, таких как ключевая ставка ЦБ, целевая маржа, на которую ориентируется банк, ставки у конкурирующих банков, характеристики основных клиентов, финансовое положение банка. Однако, по-видимому, основным определяющим фактором здесь является ключевая ставка ЦБ (рис. 1). Разность между ключевой ставкой и средневзвешенной ставкой по депозитам составляла в среднем 9 % для кредитов физических лиц и 0,8 % для юридических лиц за период 2014–2021 гг., а между средневзвешенной ставкой по кредитам и ключевой ставкой в среднем 4,86 % для депозитов физических лиц и 1,24 % для юридических лиц за аналогичный период³.

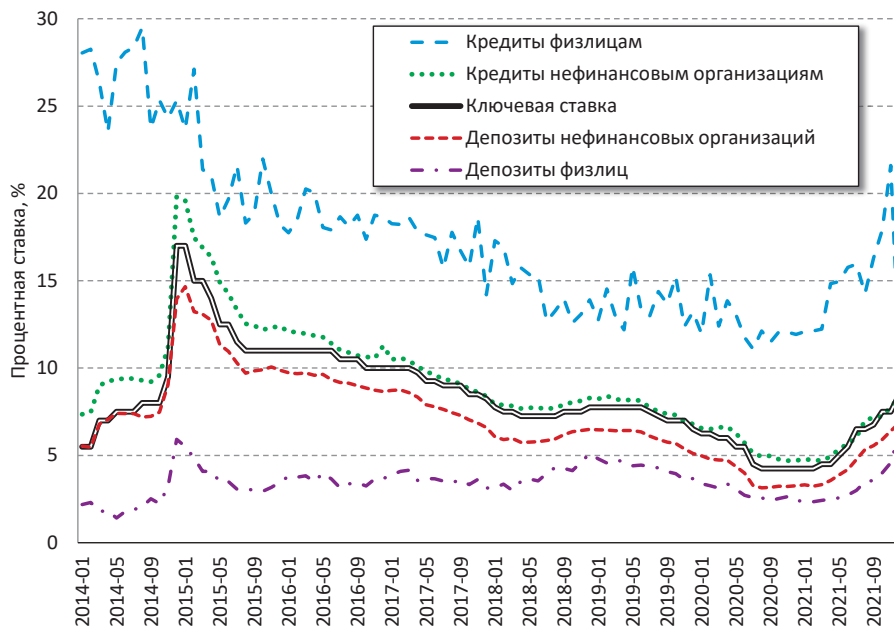


Рис. 1. Динамика ключевой ставки и средневзвешенных процентных ставок по кредитам и депозитам
Fig. 1. Dynamics of the key rate and weighted average interest rates on loans and deposits

³ Использовались следующие показатели: кредиты физическим лицам до 30 дней, включая «до востребования»; средневзвешенные процентные ставки по кредитам, предоставленным кредитными организациями нефинансовым организациям в рублях до 30 дней, включая «до востребования»; депозиты физических лиц до 30 дней, включая «до востребования»; депозиты нефинансовых организаций до 30 дней, включая «до востребования».

Кроме средних ставок по всему банковскому сектору можно проанализировать также ставки отдельных банков и их связь с ключевой ставкой ЦБ. На рис. 2 такой анализ представлен для процентной ставки по депозитам физических лиц сроком до 90 дней в Альфа-Банке. Средняя разность между ключевой ставкой и ставкой по депозитам за период 01.04.2015–01.11.2017 составляла 1,6 %. Предположение о постоянстве указанной разности дает простую модель «ключевая ставка минус константа». Видно, что такая модель (на графике – «константа») неплохо описывает указанную ставку Альфа-Банка.

Была рассмотрена также альтернативная аппроксимирующая модель, в которой учитывалось процентное изменение привлеченных средств физических лиц по сравнению с предыдущим периодом с коэффициентом -2 (на графике, рис. 2 – «константа+»). Эта модель оказалась менее удачной. Судя по всему, изменение уровня ликвидности не являлось существенным фактором при установлении ставок.



Рис. 2. Приближение для ставки по депозитам Альфа-Банка

Fig. 2. Approximation for Alfa Bank deposit rate

Модель «ключевая ставка минус константа» (где константа берется на среднем уровне 4,16 %) также достаточно хорошо описывает динамику ставки по депозитам Сбербанка⁴ с 01.11.2015 по 01.12.2020 (рис. 3).

Таким образом, с учетом доступности данных можно сделать вывод, что достаточно правдоподобным описанием динамики процентных банковских ставок российских коммерческих банков может служить постоянная разница с ключевой ставкой ЦБ РФ в процентных пунктах.

⁴ Для анализа была выбрана ставка по вкладу «Сохраняй» на период 1–2 мес. и сумму от 1000 руб.

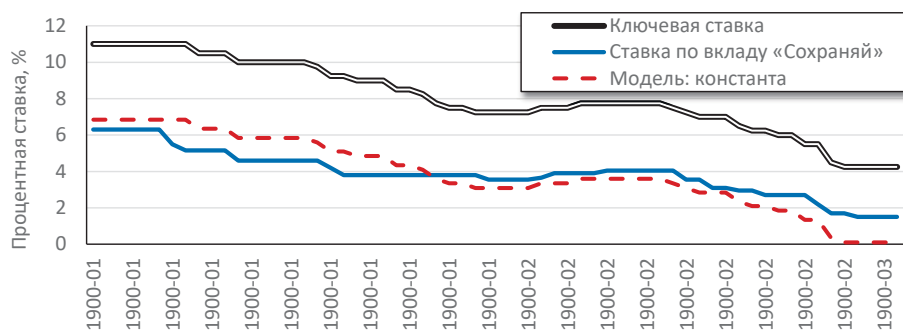


Рис. 3. Приближение для ставки по депозитам Сбербанка

Fig. 3. Approximation for Sberbank deposit rate

Краткое описание используемой модели

Прежде чем перейти к описанию финансового блока, кратко опишем особенности существующей агент-ориентированной многорегиональной модели «затраты – выпуск» (АОМММ) российской экономики. Более подробное описание представлено в статьях [1; 19]. Модель берет за основу существующий малоразмерный вариант оптимизационной балансовой модели. Для анализа мы используем расширенный вариант АОМММ из [2; 18].

Теоретическим прототипом служит модель Эрроу – Дебре с леонтьевскими технологиями, объединяющая оптимальные решения многих экономических агентов в единое равновесное состояние, в котором выполнены балансы по всем ресурсам. В то же время, в отличие от традиционного равновесного подхода, в АОМММ заложены неполнота информации и неполная рациональность. Анализ экономических процессов в рамках данной модели проводится не аналитически, а с помощью компьютерных симуляций. В частности, вычислительные эксперименты с моделью позволяют изучать структурные изменения в экономике, которые происходят из тех или иных изменений в параметрах бюджета и в целом в государственной политике.

Агент-ориентированная модель основана на принятии решений агентов на микроуровне, т. е. на уровне отдельных агентов. В модели реализованы следующие типы агентов, которые выступают в роли покупателей или продавцов и могут хранить денежные средства: домохозяйства, фирмы разных отраслей, государственные предприятия (производящие общественные блага и транспортные услуги), федеральные и региональные правительства, а также Пенсионный фонд. Часть этих агентов представляет частный, а часть – общественный сектор экономики. Агенты размещены в пространстве и связаны с макрорегионами. Каждый агент независимо решает собственные задачи во взаимодействии с другими агентами, что приводит к изменениям экономических макропараметров модели.

Дополнительно в качестве агентов выделены рынки: товарные рынки и рынок труда. Через них агенты получают информацию и осуществляют сделки. Через рынки проходят потоки соответствующих ресурсов – товаров разных отраслей и труда.

Домохозяйства получают доходы от продажи труда, от собственности в фирмах и государственные трансферты. Денежные средства, полученные в одном периоде, переносятся в следующий, а затем на основе доступных денежных средств определяется размер бюджета. При данном уровне потребительского бюджета домохозяйства выбирают объем потребления частных товаров (кроме того, они потребляют общественные блага, предоставляемые правительствами безвозмездно).

Фирмы, прогнозируя величину спроса на свою продукцию, определяют уровень выпуска своей продукции в пределах имеющихся производственных мощностей. Они получают доход от продажи продукции и несут издержки, нанимая труд, закупая товары промежуточного потребления и инвестиционные товары. Инвестиции финансируются только за счет собственных средств как фиксированная доля от валовой чистой прибыли (без вычета амортизации). Остальная часть валовой прибыли идет на выплату дивидендов. Денежные средства, необходимые для закупок, переносятся с одного периода на другой. Если фирма имеет отрицательную прибыль, она обращается за помощью к правительству с целью покрытия убытков.

Государственные предприятия производят общественное благо и транспортные услуги, по которым централизованно устанавливаются транспортные тарифы. Государственные предприятия функционируют аналогично частным фирмам, но цена на их продукцию устанавливается на уровне фиксированной маржи к себестоимости, включающей капитальные затраты.

Правительство собирает налоги, осуществляет бюджетные трансферты и финансирует производство общественного блага. Требуемые для осуществления расходов денежные средства также переносятся с одного периода на другой.

Расходы правительства состоят из государственных закупок общественных благ и трансфертов населению, доходы формируются за счет поступлений налогов (НДС, подоходный налог, налог на прибыль и страховые взносы) и прибыли государственных предприятий. НДС платят домохозяйства и правительства. Предполагается сбалансированность бюджета в каждом периоде.

Пенсионный фонд пополняется за счет страховых взносов и расходует свои средства на выплату пенсий, которые распределяются среди домашних хозяйств, имеющих статус пенсионеров.

Построение финансового блока в АОММ экономики России

Перейдем к описанию финансового блока в рамках агент-ориентированной межотраслевой многорегиональной модели российской экономики. Модель не предназначена для полноценного воспроизведения всех деталей финансовой сферы. В ней используется упрощенный подход. С финансовым сектором взаимодействуют домашние хозяйства, фирмы, государственные предприятия и правительства. Также в модель вводятся два новых типа агентов: Центральный банк и один коммерческий банк. Схема их взаимодействий проиллюстрирована на рис. 4.

Все агенты имеют возможность держать собственные ликвидные средства как в форме наличных денег, так и в форме депозитов до востребования (то же,

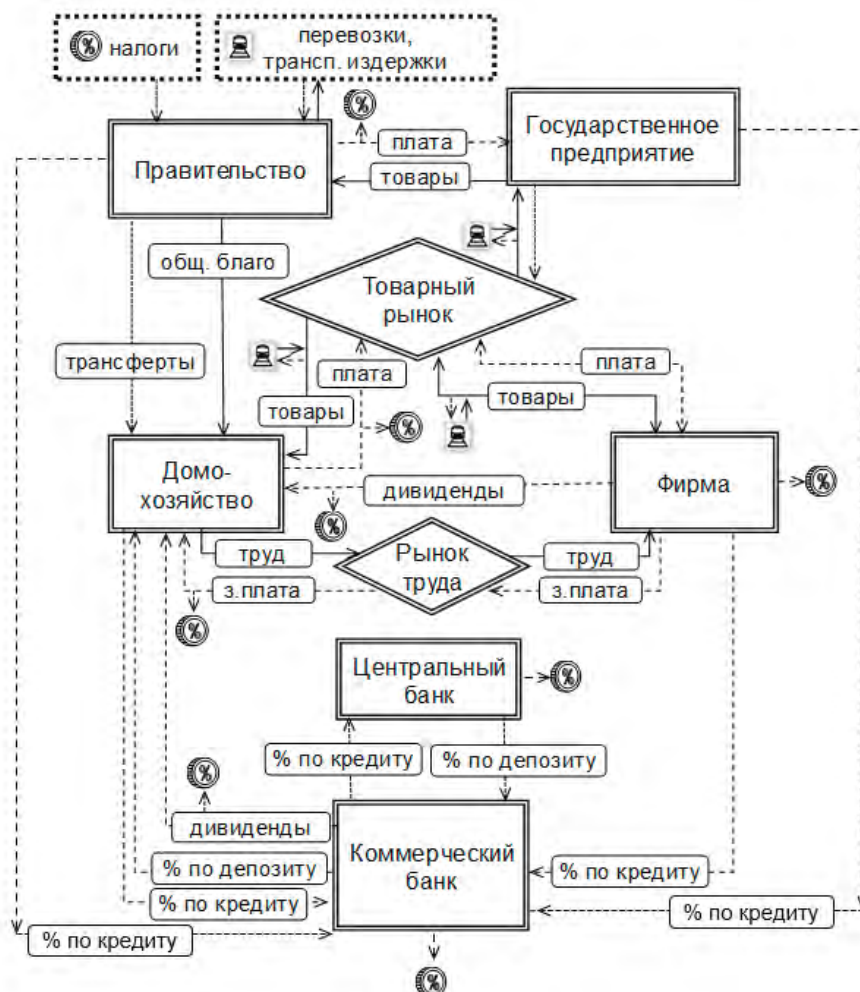


Рис. 4. Схема АОМММ российской экономики с включением финансового сектора
 Fig. 4. AOMMM scheme of the Russian economy with the inclusion of the financial sector

что расчетный счет). Структура соответствующих запасов задается коэффициентом депонирования, т. е. отношением наличных к депозитам. Также все агенты имеют возможность получить кредит, если при проведении расчетных операций (совершении сделок) в текущем периоде им не хватило собственных средств. Домашние хозяйства имеют возможность сберегать средства в виде краткосрочных депозитов и брать краткосрочные потребительские кредиты у коммерческого банка. Фирмы предъявляют спрос на инвестиционные кредиты, а также кредиты на покрытие убытков и покрытие дефицита ликвидности. Соответственно, коммерческий банк предоставляет кредиты и депозиты домохозяйствам, фирмам, государственным предприятиям, правительствам, в том числе если агентам не хва-

тает собственных средств на проведение операций, а также имеет возможность брать краткосрочные кредиты и размещать средства на депозите у Центрального банка.

Собственность коммерческого банка распределена между несколькими домашними хозяйствами (по аналогии с фирмами). В конце каждого периода домохозяйства получают дивиденды, пропорциональные доле в собственности, при условии положительной прибыли коммерческого банка в текущем периоде. Центральный банк каждый период времени устанавливает уровень ключевой процентной ставки, которая влияет на динамику всех остальных процентных ставок и тем самым на динамику финансового рынка.

Более подробное описание каждого типа агентов и их правил поведения представлено ниже. Для фирм и коммерческого банка даны балансы со списком активов и пассивов, а также таблицы, описывающие движение денежных средств по образцу таблиц, используемых для описания модели Eurace@Unibi [12].

Домашние хозяйства

Доходы Inc_{ht} домохозяйства h в период времени t складываются из трудового дохода w_{ht} и трансфертов в объеме S_{ht} , выплачиваемых правительством⁵. Также домохозяйство может выступать владельцем долей в фирмах и банке и получать дивиденды Div_{ht} . Таким образом,

$$\text{Inc}_{ht} = w_{ht} + S_{ht} + \text{Div}_{ht}.$$

Также в число средств, которыми может распоряжаться домохозяйство в данном периоде, входят сбережения прошлого периода с учетом полученных или выплаченных процентов. В целом эти денежные средства условно можно назвать богатством W_{ht} .

Каждый период имеющиеся средства W_{ht} распределяются между потреблением частных товаров C_{ht} и сбережениями S_{ht} . Бюджет потребления C_{ht} распределяется между товарами N различных отраслей:

$$\sum_{i=1}^N p_{iht} x_{iht} = C_{ht}.$$

В качестве однопериодной функции полезности в модели берется функция Кобба – Дугласа, зависящая от N частных благ и общественного блага:

$$U(x_{ht}, g_t) = \sum_{i=1}^N k_{c_{ih}} \ln(x_{iht}) + k_g \ln(g_t),$$

где $x_{ht} = (x_{1ht}, \dots, x_{Nht})$ – вектор объемов потребления частных благ в период t ; g_t – потребление общественного блага; $k_{c_{ih}}$ – коэффициент функции полезности для блага x_{iht} ($\sum_{i=1}^N k_{c_{ih}} = 1$); k_g – коэффициент при общественном благе в функции полезности.

⁵ В модели получение доходов происходит в конце предыдущего периода.

По свойствам функции Кобба – Дугласа при данном бюджете C_{ht} домохозяйство выделит долю k_{cih} бюджета на товар i , так что $x_{iht} = \frac{k_{cih} C_{ht}}{P_{iht}}$, где P_{iht} – цена товара i . В результате домохозяйство получит полезность

$$U_h = \ln (C_{ht}/P_{ht}) + \text{const},$$

где $P_{ht} = \exp \left(\sum_{i=1}^N k_{cih} \ln (P_{iht}) \right)$ – индекс цен для домохозяйства i , а константа зависит только от коэффициентов k_{cih} . Таким образом, с точностью до константы однопериодная полезность домохозяйства равна логарифму реального потребления C_{ht}/P_{ht} .

Предполагается, что домохозяйству доступна возможность сбережений в виде однопериодного депозита и получения однопериодного потребительского кредита в коммерческом банке. Можно условно считать, что если домохозяйство берет кредит в размере z , то сбережения отрицательны: $s_{ht} = -z$. Если домашнему хозяйству не хватает средств для выплаты кредита, оно перекредитуется.

Если домохозяйство в период t берет кредит, то оно сталкивается с номинальной процентной ставкой r_t^c , а если складывает на депозит, то сталкивается со ставкой r_t^d . Таким образом, ставка r_t^h для домохозяйства зависит от того, какой знак имеют его сбережения:

$$r_t^h (s_{ht}) = r_t^d I(s_{ht} < 0) + r_t^c I(s_{ht} \geq 0),$$

где $I(\cdot)$ – индикаторная функция, равная 1, если условие истинно, и 0 иначе.

В каждый период времени домохозяйство делает выбор между своим текущим потреблением и своим потреблением в будущем, обеспечиваемым за счет сбережений, ориентируясь на процентные ставки, установленные банком. Однопериодное бюджетное ограничение имеет вид

$$C_{ht} + s_{ht} = W_{ht} = Inc_{ht} + s_{h,t-1} (1 + r_{t-1}^h (s_{h,t-1})).$$

Домашние хозяйства – это те экономические агенты, которые своими межвременными предпочтениями связывают разные периоды времени. В теоретических динамических моделях однопериодные полезности разных периодов делаются сопоставимыми с помощью дисконтирования. Если предположить, что домохозяйство живет бесконечное число периодов и является смотрящим далеко вперед, принимающим во внимание полезности в будущих периодах с учетом дисконтирования (не «близоруким»), то в предположении постоянного субъективного коэффициента дисконтирования $\beta_h \in (0; 1)$ следует рассмотреть задачу максимизации ожидаемой многопериодной дисконтированной полезности:

$$E_t \sum_{j=0}^{\infty} \beta_h^j \ln \left(\frac{C_{h,t+j}}{P_{h,t+j}} \right) \rightarrow \max_{(C_{h,t+j}, s_{h,t+j})_{j=0, \dots, \infty}}$$

при выполнении бюджетных ограничений. Здесь E_t – оператор математического ожидания, условного относительно информации периода t . Для исключения три-

виального решения в виде бесконечных займов к задаче также следует добавить так называемое условие отсутствия игр Понци.

К сожалению, получить решение подобной задачи в явном виде, с учетом присутствующей в ней стохастичности, не представляется возможным. Вместо этого в макроэкономических агент-ориентированных моделях вводится некоторое правило, определяющее величину сбережений. В данном случае мы используем упрощенное правило, выведенное из определенных эвристических соображений на базе описанной теоретической задачи:

$$s_{ht} = \beta Wht - (1 - \beta) \frac{\text{Inc}_{h,t+1}^e}{r_{h,t+1}^e}.$$

Ввиду того, что домашнее хозяйство не располагает информацией о том, какие будут сбережения в следующих периодах, предполагается, что оно учитывает процент по сбережениям, равный ожидаемой номинальной ключевой ставке r_t^{ke} . Дисконтирование также проводится по данной ставке. Ожидания потребителей формируется на основе правила адаптивных ожиданий:

$$\text{Inc}_{h,t+1}^e = \text{Inc}_{ht}^e + \gamma_{lh} (\text{Inc}_{ht} - \text{Inc}_{ht}^e) \quad \text{и} \quad r_{t+1}^{ke} = r_t^{ke} + \gamma_{rh} (r_t^k - r_t^{ke}).$$

где γ_{lh}, γ_{rh} – коэффициенты адаптации (параметры модели).

В конце каждого периода t домашнее хозяйство распределяет средства $C_{i,t+1}$, предназначенные на потребление в следующем периоде, между наличными деньгами и расчетным счетом в банке согласно фиксированному коэффициенту депонирования (cu).

Фирмы

Прибыль фирмы до налогообложения представляет собой остаток выручки от продаж после осуществления производственных расходов и выплаты процентов. А именно, прибыль до налогообложения π_{ft} фирмы f в периоде t равна

$$\pi_{ft} = p_{ft}y_{ft} - c_{ft}Q_{ft} - \text{IDebt}_{ft},$$

где p_{ft} – цена на продукцию; y_{ft} – объем продаж; IDebt_{ft} – величина процентов по долгу; c_{ft} – издержки на единицу продукции; Q_{ft} – объем производства. Издержки c_{ft} зависят от p_{fit} – цен товаров промежуточного потребления различных отраслей $i = 1, \dots, N$ и цены труда $p_{L,t}$:

$$c_{ft} = \sum_{i=1}^N a_{fi} p_{fit} + a_{fL} p_{L,t},$$

где a_{fi} и a_{fL} – технологические коэффициенты для товаров промежуточного потребления и труда. На данный момент все кредиты однопериодные ($n = 1$), поэтому процентные выплаты равны

$$\text{IDebt}_{ft} = r_{t-1}^c \text{IDebt}_{f,t-1},$$

где $\text{Debt}_{f,t-1}$ – сумма кредита прошлого периода; r_{t-1}^c – процентная ставка по кредиту (за один период).

Прибыль после налогообложения π_{ft}^{net} определяется следующим образом:

$$\pi_{ft}^{\text{net}} = \pi_{ft} - t^{\text{corp}} (\pi_{ft} - A_{ft}),$$

где t^{corp} – ставка налога на прибыль; A_{ft} – амортизация. Величина дивидендов Div_{ft} определяется как фиксированная доля d_f прибыли (если эта прибыль положительна):

$$\text{Div}_{ft} = d_f \max \{0; \pi_{ft}^{\text{net}}\}.$$

Нераспределенная прибыль π_{ft}^{ret} , которая может быть направлена на инвестиции, составляет

$$\pi_{ft}^{\text{ret}} = \pi_{ft}^{\text{net}} - \text{Div}_{ft}.$$

(Ее величина может быть отрицательной.)

Фирма рассчитывает потребность в ликвидных денежных средствах исходя из ожидаемого спроса и колебания выручки. Если фирма не имеет достаточных внутренних финансовых ресурсов, она может обращаться за кредитами в банк для финансирования инвестиций или покрытия убытков. В конце каждого периода фирма распределяет средства, предназначенные на осуществление расчетных операций в следующем периоде, между наличными деньгами и депозитом до востребования согласно коэффициенту депонирования si .

Депозитный счет до востребования используется в качестве основного источника для покрытия непредвиденных и инвестиционных расходов в будущих периодах. Таким образом, хранение фирмой средств на «до востребования» может быть объяснено некоторой финансовой «подушкой» для предотвращения финансового кризиса фирмы при резком падении спроса на ее продукцию или росте цен на товары промежуточного потребления, а также накоплением средств на осуществление инвестиций в будущих периодах.

Баланс фирмы дает представление о составе активов и пассивов фирмы в модели (табл. 1). Под ликвидными средствами понимаются наличные и средства на расчетном счете.

В табл. 2 показано движение ликвидных денежных средств, т. е. поступление средств и платежи, фирмы f за один период. Изменение размера долга фирмы ΔDebt_{ft} представлено в двух частях таблицы. В данном случае $\Delta \text{Debt}_{ft}^{(+)}$ – это новый кредит в банке и для однопериодных кредитов совпадает с $\Delta \text{Debt}_{f,t+1}$, $\Delta \text{Debt}_{ft}^{(-)}$ – выплата основной суммы по предыдущему долгу и совпадает с Debt_{ft} . В целом

$$\Delta \text{Debt}_{ft} = \Delta \text{Debt}_{ft}^{(+)} - \Delta \text{Debt}_{ft}^{(-)}.$$

Таблица 1

Баланс фирмы на начало периода

Table 1

Balance sheet of the firm at the beginning of the period

Активы	Пассивы
M_{ft} : ликвидные средства	$Debt_{ft}$: задолженность банку
$Invent_{ft}$: запасы готовой продукции	E_{ft} : собственный капитал
K_{ft} : стоимость основного капитала	

Таблица 2

Движение денежных средств фирмы за период

Table 2

Cash flow of the firm for the period

Поступления	Платежи
$p_{ft}y_{ft}$: выручка с продаж	$c_{ft}Q_{ft}$: операционные расходы
	$IDebt_{ft}$: проценты по кредиту
	Tax_{ft} : налоговые отчисления
	Div_{ft} : выплаты дивидендов
	Inv_{ft} : инвестиционные расходы
$\Delta Debt_{ft}^{(+)}$: увеличение задолженности перед банком	$\Delta Debt_{ft}^{(-)}$: уменьшение задолженности перед банком

Исходя из поступлений и платежей, перечисленных в табл. 2, на конец периода t величина ликвидных средств фирмы составит

$$M_{f,t+1} = M_{ft} + p_{ft}y_{ft} - c_{ft}Q_{ft} - IDebt_{ft} - Tax_{ft} - Div_{ft} - Inv_{ft} + \Delta Debt_{ft}.$$

Задолженность банку изменяется в результате погашения предыдущих кредитов и получения новых:

$$Debt_{f,t+1} = Debt_{ft} + \Delta Debt_{ft} = Debt_{ft} + \Delta Debt_{ft}^{(+)} - \Delta Debt_{ft}^{(-)}.$$

Стоимость запасов готовой продукции меняется на величину изменения запасов, рассчитанную по текущей цене продукции:

$$Invent_{f,t+1} = Invent_{ft} + p_{ft}Q_{ft} - p_{ft}y_{ft}.$$

Стоимость основного капитала меняется на общую сумму инвестиций в основнй капитал Inv_{ft} за вычетом амортизации основного капитала A_{ft} :

$$K_{f,t+1} = K_{ft} + Inv_{ft} - A_{ft}.$$

Наконец, статья «Собственный капитал» балансирует таблицу, представляя собой разность величины активов и обязательств.

Коммерческий банк

Активы коммерческого банка состоят из обязательных резервов в Центральном банке Res_{bt} , депозитов на счетах в Центральном банке M_{bt} и непогашенных кредитов фирмам L_{bt} . Центральный банк устанавливает размер обязательных резервов в процентном отношении к обязательствам коммерческого банка, которые соответствуют сумме депозитов всех его клиентов.

Предполагается, что банк прогнозирует объем требуемой в следующем периоде ликвидности с некоторым страховым коэффициентом (параметр модели), остаток свободных денежных средств депонируется в ЦБ. Суммируя депозиты клиентов Dep_{bt} , кредиты у Центрального банка $Debt_{bt}$ и собственный капитал E_{bt} , получаем пассивы. При инициализации модели для коммерческого банка создается собственный капитал E_{b0} .

В модели предполагается постоянное значение δ норматива уровня обязательного резервирования:

$$Res_{bt} = \delta Debt_{bt}.$$

В целом баланс банка показан в табл. 3.

Таблица 3

Баланс банка на начало периода

Table 3

Bank balance at the beginning of the period

Активы	Пассивы
Res_{bt} : обязат. резервы в ЦБ	Dep_{bt} : депозиты клиентов
M_{bt} : ликвидность на депозите в ЦБ	$Debt_{bt}$: задолженность Ц. банку
L_{bt} : непогашенные кредиты клиентов	E_{bt} : собственный капитал

Табл. 4 резюмирует движение ликвидных денежных средств банка за один период.

Обязательные резервы банка изменяются на величину $\Delta Res_{bt} = \delta Debt_{bt}$.

Соответственно, в случае отрицательного значения $-\Delta Res_{bt}$ относится к поступлениям, а в случае положительного значения ΔRes_{bt} относится к платежам банка. В табл. 4 используются следующие обозначения для положительной и отрицательной части рассматриваемой величины X :

$$X^{(+)} = \max \{X, 0\},$$

$$X^{(-)} = \max \{-X, 0\}$$

При этом для обязательных резервов (в частности) имеем

$$\Delta Res_{bt} = \Delta Res_{bt}^{(+)} - \Delta Res_{bt}^{(-)}.$$

Таблица 4

Движение денежных средств банка за период

Table 4

Cash flow of the bank for the period

Поступления	Платежи
$\Delta \text{Res}_{bt}^{(-)}$: уменьшение обязательных резервов банка	$\Delta \text{Res}_{bt}^{(+)}$: пополнение обязательных резервов банка
$\Delta \text{Dep}_{bt}^{(+)}$: увеличение объема депозитов клиентов в банке	$\Delta \text{Dep}_{bt}^{(-)}$: уменьшение объема депозитов
$r_{b,t-1}^d M_{b,t-1}$: получение процентов от депозита в ЦБ	$r_{t-1}^d \text{Dep}_{b,t-1}$: выплата процентов по депозитам
$\Delta \text{Debt}_{bt}^{(+)}$: увеличение задолженности перед ЦБ	$\Delta \text{Debt}_{bt}^{(-)}$: уменьшение задолженности перед ЦБ
$\Delta L_{bt}^{(-)}$: уменьшение задолженности клиентов перед банком	$r_{b,t-1}^c \text{Debt}_{b,t-1}$: выплата процентов по кредиту ЦБ
$r_{t-1}^c L_{b,t-1}$: выплата клиентами процентов по долгу	$\Delta L_{bt}^{(+)}$: увеличение задолженности клиентов перед банком
	Tax_{bt} : налоговые выплаты
	Div_{bt} : выплаты дивидендов

По кредитам Центрального банка коммерческий банк платит по ставке $r_{bt}^c = r_t^k - \bar{r}_{bt}^c$, а получает проценты от депозита в ЦБ по ставке $r_{bt}^d = r_t^k + \bar{r}_{bt}^d$, где r_t^k – базовая процентная ставка (ключевая ставка), $\bar{r}_{bt}^c$, $\bar{r}_{bt}^d$ – наценка относительно базовой ставки для кредитов и депозитов соответственно. Все кредиты и депозиты коммерческого банка и других агентов являются однопериодными. Соответственно, в период t по депозитам в ЦБ он получает $r_{b,t-1}^d M_{b,t-1}$, где $M_{b,t-1}$ – величина этих депозитов в предыдущем периоде. По кредитам, полученным от ЦБ, он платит $r_{b,t-1}^c \text{Debt}_{b,t-1}$, где $\text{Debt}_{b,t-1}$ – задолженность перед ЦБ в предыдущем периоде.

Кроме того, банк получает проценты и платежи по кредитам клиентов. Задолженность клиентов перед банком L_{bt} уменьшается в результате выплат ими основной суммы долга, и увеличивается в результате выдачи новых кредитов. В целом она изменяется на величину

$$\Delta L_{bt} = \Delta L_{bt}^{(+)} - \Delta L_{bt}^{(-)}.$$

Процентная ставка по депозитам, которую банк выплачивает своим клиентам, определяется по правилу

$$r_t^d = r_t^k - \bar{r}_t^d,$$

т. е. она ниже текущей ключевой (базовой) ставки r_t^k на величину $\bar{r}_t^d$, а процентная ставка по кредитам – по правилу

$$r_t^c = r_t^k + \bar{r}_t^c,$$

т. е. она выше базовой ставки на $\bar{r}_t^c$. Это гарантирует, что банки могут получать прибыль.

За выданные кредиты банк получает проценты $r_{t-1}^c L_{b,t-1}$, где $L_{b,t-1}$ – сумма кредитов всем клиентам, выданным в предыдущем периоде. По депозитам клиентам выплачиваются проценты в сумме $r_{t-1}^d \text{Dep}_{b,t-1}$, где $\text{Dep}_{b,t-1}$ – общий объем депозитов, привлеченных банком в прошлом периоде.

Прибыль банка состоит из разницы между процентами по кредитам и процентами по депозитам плюс (минус) проценты, выплачиваемые (получаемые) Центральным банком по депозитам (кредитам):

$$\pi_{bt} = r_{t-1}^c L_{b,t-1} - r_{t-1}^d \text{Dep}_{b,t-1} + r_{b,t-1}^d M_{b,t-1} - r_{b,t-1}^c \text{Dep}_{b,t-1}.$$

С этой прибыли банк выплачивает налог на прибыль $t^{\text{corp}} \pi_{bt}$, где t^{corp} – ставка налога на прибыль.

В случае положительной прибыли банк выплачивает дивиденды Div_{bt} домохозяйствам пропорционально их долям собственности как фиксированную долю d_b от прибыли после налогообложения:

$$\text{Div}_{bt} = d_b \max \{0; (1 - t^{\text{corp}}) \pi_{bt}\}.$$

В результате нераспределенная прибыль π_{bt}^{ret} , которая может быть направлена на выплату основного долга, инвестиции или открытие депозита в банке, составляет

$$\pi_{bt}^{\text{ret}} = (1 - t^{\text{corp}}) \pi_{bt} - \text{Div}_{bt}.$$

Ликвидные средства банка (ликвидность на депозите в ЦБ) колеблются в зависимости от депозитов/снятий клиентов, процентных платежей, новых кредитов/погашений долга и, наконец, также от налогов и дивидендов (см. табл. 4):

$$\begin{aligned} M_{b,t+1} = & M_{bt} - \Delta \text{Res}_{bt} + \Delta \text{Dep}_{bt} - r_{t-1}^d \text{Dep}_{b,t-1} + r_{b,t-1}^d M_{b,t-1} + \\ & + \Delta \text{Dep}_{bt} - L_{bt} - r_{b,t-1}^c \text{Debt}_{b,t-1} + r_{b,t-1}^c L_{b,t-1} - \text{Tax}_{bt} - \text{Div}_{bt}. \end{aligned}$$

Не исключено, что из-за изменений спроса на депозиты и кредиты денежные резервы банка станут отрицательными. Предполагается, что банки имеют постоянный кредитный счет в Центральном банке, из которого могут свободно получать однопериодные кредиты. Если ликвидность банка положительна, банк автоматически погашает свой долг перед ЦБ ($\Delta \text{Debt}_{bt} = -\Delta \text{Debt}_{bt}^{(-)} < 0$) и получает

проценты по депозитам. Если ликвидность отрицательна, банк использует кредит ЦБ ($\Delta \text{Debt}_{bt} = -\Delta \text{Debt}_{bt}^{(+)}$) и устанавливает $M_{b,t+1} = 0$:

$$\text{Debt}_{bt} = \begin{cases} -M_{b,t+1}, & M_{b,t+1} \leq 0, \\ 0, & M_{b,t+1} > 0. \end{cases}$$

И, аналогично, депозит коммерческого банка в Центральном банке равен нулю, если он кредитруется. Таким образом, банк имеет возможность кредитования в случае отрицательных денежных резервов и размещения на депозите собственных свободных средств.

Центральный банк

Основным параметром денежно-кредитной политики, выбираемым Центральным банком в условиях таргетирования инфляции, является ключевая процентная ставка. Как и во многих других АОМ, для выбора ставки здесь используется вариант так называемого правила Тейлора (см. [2] и другие обзоры). В целом такое правило согласуется с текущей политикой Центрального банка России.

Каждый период t ЦБ устанавливает ключевую ставку r_t^k по формуле

$$r_t^k = \omega r_{t-1}^k + (1 - \omega) \left(R_t^* + \pi_t^e + \vartheta (\pi_t^e - \pi^*) \right),$$

где ω – коэффициент сглаживания; R_t^* – реальная равновесная процентная ставка; π_t^e – ожидаемая инфляция; π^* – целевой уровень инфляции; ϑ – коэффициент корректировки отклонения инфляции от целевого уровня. В этой формулировке правила Тейлора используется сглаживание, так как предполагается, что ЦБ не может значительно менять свою политику каждый период времени (неделю). Контрциклическая политика в данном случае не рассматривается, поскольку в модели АОМММ в настоящее время отсутствует безработица в ее традиционном понимании.

Ожидаемая инфляция пересчитывается адаптивно по формуле

$$\pi_{t+1}^e = \pi_t^e + \gamma_b (\pi_t - \pi_t^e),$$

где π_t – фактическая инфляция в период t по индексу потребительских цен (ИПЦ), γ_b – коэффициент адаптации ожиданий.

Равновесная процентная ставка R^* определяется с помощью модели С-САРМ:

$$R_t^* = \sigma g_t^e - \ln(\beta),$$

где σ – величина, обратная к эластичности межвременного замещения; g_t^e – ожидаемый темп роста ВВП на душу населения в постоянных ценах (используется правило адаптивных ожиданий с коэффициентом γ_b); β – коэффициент дисконтирования у домохозяйств.

Прибыль ЦБ (разница полученных и выплаченных процентов) после уплаты налогов распределяется в бюджет Правительства. Налог на прибыль Центрального банка составляет 20 %, 75 % чистой прибыли после выплаты налогов направляется в федеральный бюджет в соответствии с политикой ЦБ РФ.

Также со стороны Центрального банка к коммерческому банку применяются ограничения по резервированию. Соответствующий норматив в текущем варианте модели остается на неизменном уровне, задаваемом параметром δ . Ограничение ликвидности не рассматривается, поскольку предполагается, что в случае недостаточности средств для выплаты по обязательствам банк имеет возможность неограниченного кредитования у Центрального банка.

Тестирование финансового блока

Логика разработки симуляционных моделей не отличается от логики, используемой для других видов прикладных моделей. Модель – это абстрактное представление какого-либо явления или процесса (набор уравнений, компьютерная программа и т. д.), используемое для анализа или прогнозирования. Чтобы убедиться в пригодности модели для поставленных целей, она должна быть подвергнута тестированию и другим видам валидации. В частности, исследуется поведение модели и результаты сравниваются с реальными наблюдениями. Если выходные данные модели сопоставимы с реальными данными, то это свидетельствует о валидности модели [15].

Параметры модели, используемые в расчетах

Вычисления с использованием финансового блока требуют настройки ряда экзогенных параметров, содержащихся в соответствующих алгоритмах.

Коэффициенты адаптации ожиданий как по доходу, так и по процентной ставке для всех домохозяйств берутся одинаковые: $\gamma_{lh} = \gamma_l$, $\gamma_{rh} = \gamma_r$. Значение подбиралось на основе компромисса между гладкостью динамики и актуальностью ожиданий. Ставка дисконтирования также одинакова для всех домохозяйств ($\beta_h = \beta$) и калибровалась на уровне, примерно равном $\frac{1}{1+r_t^k}$, где r_t^k – ключевая ставка.

Наценки коммерческого банка по депозитам и кредитам относительно ключевой ставки приблизительно соответствуют фактическим усредненным показателям российских банков (см. выше). Эти наценки постоянны и равны

$$\bar{r}_t^d = \bar{r}^d, \quad \bar{r}_t^c = \bar{r}^c, \quad t = 1, 2, \dots$$

Данные параметры определяют разницу между процентными ставками по кредитам и депозитам и, следовательно, доходность банка.

Наценки ЦБ по кредитам и депозитам относительно ключевой ставки также зафиксированы на постоянном уровне:

$$\bar{r}_{bt}^c = \bar{r}_b^c, \quad \bar{r}_{bt}^d = \bar{r}_b^d, \quad t = 1, 2, \dots$$

Кроме этих наценок, для Центрального банка устанавливается на постоянном уровне δ норматив обязательного резервирования.

При установлении ключевой ставки используется параметр σ , который по смыслу должен быть обратной величиной к эластичности межвременного замещения. В данной модели используется логарифмическая однопериодная функция полезности, поэтому $\sigma = 1$. Целевой уровень инфляции π^* выбран в соответствии с текущей политикой ЦБ.

В табл. 5 указаны параметры АОМММ, которые относятся к финансовому блоку. Наценки для процентных ставок и инфляция приведены в годовом выражении. В модели они пересчитываются к продолжительности одного периода – неделе.

Значения экзогенных параметров модели

Таблица 5

Table 5

Values of exogenous parameters of the model

Обозначение	Параметр	Значение
γ_b, γ_r	Коэффициенты адаптации ожиданий для домохозяйств	0,6
cu	Коэффициент депонирования	0,25
t^{corp}	Ставка налога на прибыль	20%
Домашние хозяйства		
β	Коэффициент дисконтирования полезности	0,9988
Фирмы		
d_f	Отношение дивидендов к прибыли	0,8
Центральный банк		
$\overset{-c}{r_b}, \overset{-d}{r_b},$	Наценка ЦБ на ставку по кредитам (+) и депозитам (-) КБ	1 п. п.
γ_b	Коэффициент адаптации ожиданий	0,3
δ	Норматив обязательного резервирования	4,75%
ω	Коэффициент сглаживания ключевой ставки	0,99
π^*	Целевой уровень инфляции	4%
ϑ	Корректирующий коэффициент для отклонения инфляции от π^*	0,1
Коммерческий банк		
d_b	Отношение дивидендов к прибыли	0,8
$\overset{-d}{r}$	Наценка ставки по депозитам	9 п. п.
$\overset{-c}{r}$	Наценка ставки по кредитам	4,86 п. п.

Анализ результатов

Рассмотрим результаты вычислений по модели. Для анализа удобно использовать графики временных рядов основных показателей, характеризующих модельную экономику, сопоставляя их с соответствующими графиками по базовому варианту модели без финансового блока и реальными данными. На графиках по горизонтальной оси откладывается номер периода (где период соответствует одной неделе), начиная с нулевого, а по вертикальной оси – исследуемые показатели. Используется один прогон модели длительностью 300 периодов.

Показатели кредитно-денежной политики ЦБ. Динамика ключевой процентной ставки, представленная на рис. 5, демонстрирует заметный отрицательный тренд. При инициализации процентной ставки значением 7 % годовых мы видим ее снижение к концу вычислений до 3 % годовых. Заложенная в модель политика таргетирования предполагает повышение ключевой ставки в ответ на внешние инфляционные шоки. Поскольку используемый сценарий не включал подобных шоков, то падение данной ставки до более низкого значения вполне объяснимо. В данном сценарии Центральный банк пытается «разогнать» инфляцию, стимулируя агентов кредитоваться.

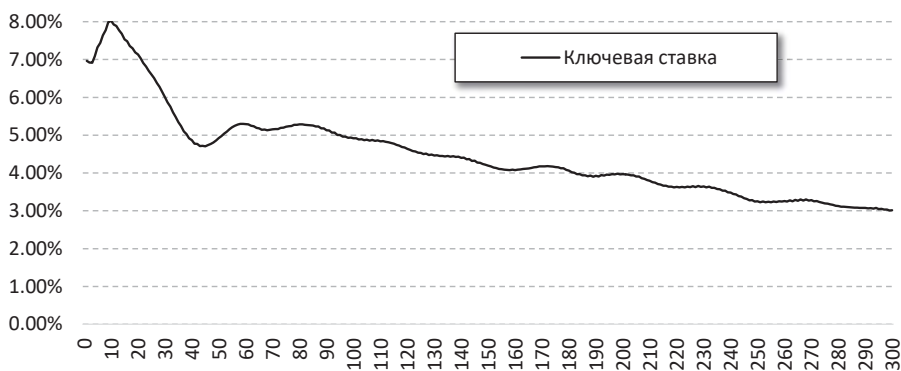


Рис. 5. Динамика ключевой процентной ставки в годовом выражении
Fig. 5. Dynamics of the key interest rate in annual terms

Динамика денежных агрегатов демонстрирует растущий тренд – в экономике растет объем номинальной денежной массы (рис. 6). Колебания в значениях показателей обосновываются динамикой ключевой процентной ставки. Распределение (структура) денежных средств между агентами (рис. 7) соответствует базовому варианту модели. Темпы роста денежных агрегатов между агентами значительно не различаются. Распределение активов между депозитами до востребования (расчетный счет) и наличными деньгами задается коэффициентом депонирования, одинаковым для всех агентов.

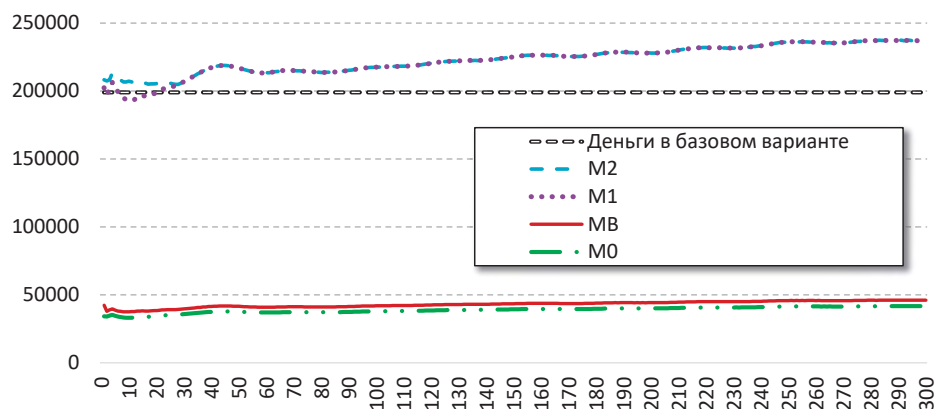


Рис. 6. Динамика денежных агрегатов
Fig. 6. Dynamics of monetary aggregates

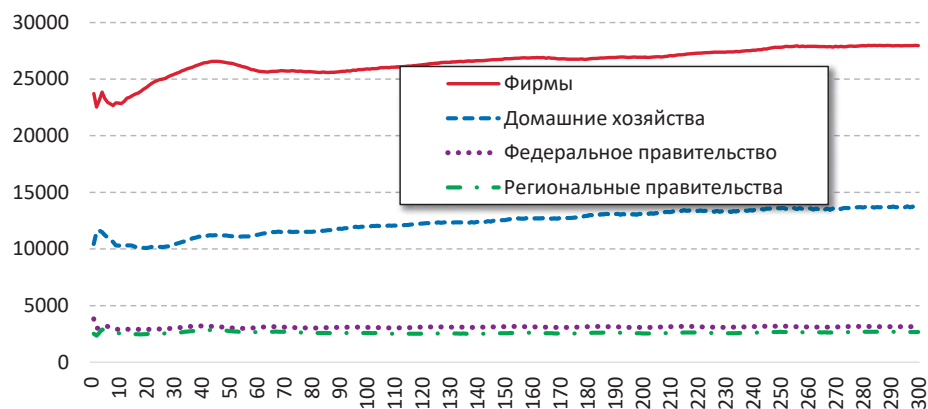


Рис. 7. Динамика денежной массы в разрезе агентов
Fig. 7. Dynamics of money supply by agents

Динамика цен. Динамика недельной инфляции в модели демонстрирует действенность политики таргетирования: средний недельный уровень инфляции в базовом сценарии составляет $-0,005\%$, а в сценарии с включением финансового блока $0,044\%$ при целевом уровне недельной инфляции $0,075\%$ (по индексу потребительских цен). Как следствие, в модели с финансовым сектором в динамике цен наблюдается устойчивый повышательный тренд. Уровень цен в последнем периоде ($t = 300$) составляет $98,6\%$ и $114,0\%$ по сравнению с начальным периодом ($t = 0$) соответственно (рис. 8).

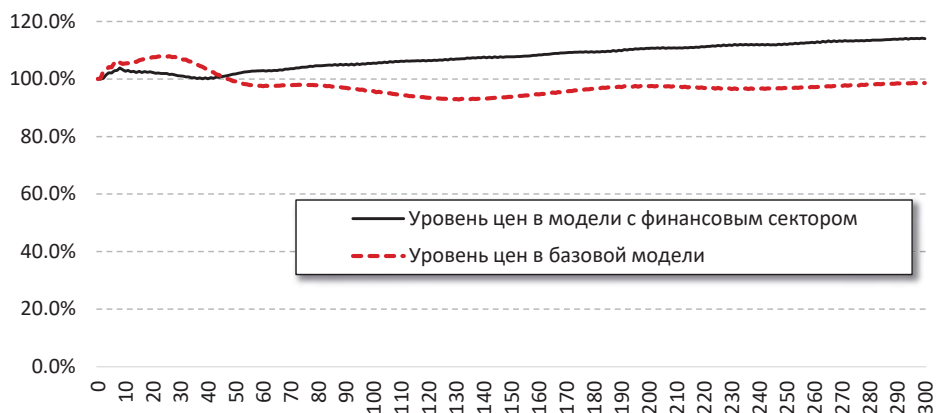


Рис. 8. Динамика уровня цен по ИПЦ
Fig. 8. Dynamics of price level by Consumer Price Index

Для проверки адекватности результатов динамики инфляции было проведено сравнение модельных показателей с фактическими данными ежемесячной инфляции в 2015–2021 гг. (рис. 9). Можно сделать вывод, что динамические свойства инфляции, продемонстрированные моделью, в целом аналогичны характеристикам реальной инфляции. Дисперсия колебаний в модели несколько ниже, но сопоставима по величине с фактической дисперсией инфляции.

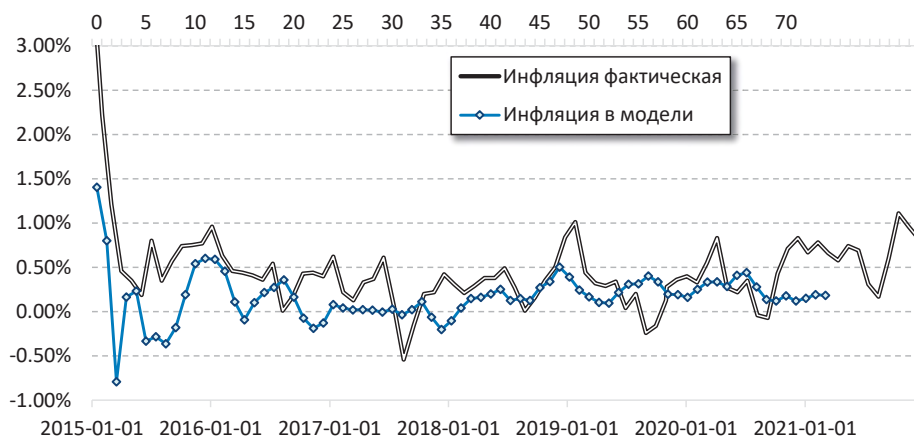


Рис. 9. Динамика фактической месячной инфляции (дата на нижней шкале) и месячной инфляции в модели (номер месяца на верхней шкале)

Fig. 9. Dynamics of actual monthly inflation (date on the lower scale) and monthly inflation in the model (month number on the upper scale)

Показатели для коммерческого банка. Динамика процентных ставок по кредиту и депозиту коммерческого банка повторяет динамику ключевой ставки с некоторой фиксированной разницей согласно модели. Баланс коммерческого банка

в Центральном банке напрямую зависит от внешнего спроса на продукты банка. Все домашние хозяйства имеют схожую динамику доходов и, следовательно, сбережений, поэтому все домохозяйства либо сберегают, либо берут кредит, что напрямую отражается на балансе банка. Динамика спроса на депозиты и кредиты в экономике зависит от изменения доходов и в большей степени от динамики процентных ставок (рис. 10).

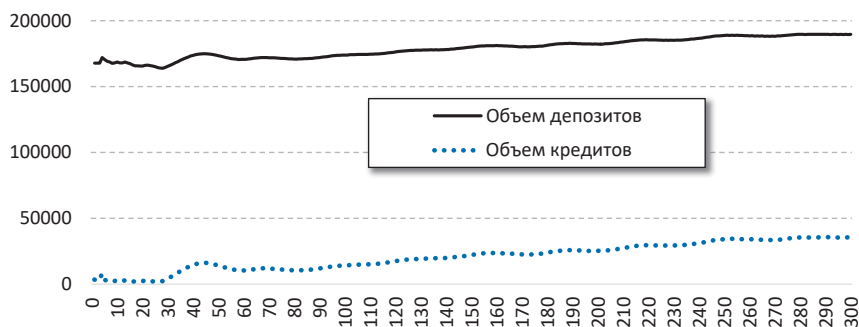


Рис. 10. Динамика объемов депозитов и кредитов в экономике

Fig. 10. Dynamics of deposits and loans in the economy

На представленном выше графике в качестве объема депозитов выступает сумма как срочных, так и депозитов до востребования (расчетный счет). В структуре депозитов преобладают депозиты до востребования. При происходящем снижении процентных ставок размещение срочных депозитов становится не столь выгодным, поэтому рост суммы депозитов обосновывается ростом объема денежной массы в экономике.

Реальные макропоказатели. По сравнению с базовым вариантом в новом варианте модели наблюдаются экспансионистские явления. Возникает вопрос о влиянии такой динамики на реальные показатели, отражающие уровень экономической активности. В анализируемом эксперименте динамика реального ВВП (рис. 11) сходится к колебаниям вокруг показателей в базовом сценарии. Это мо-

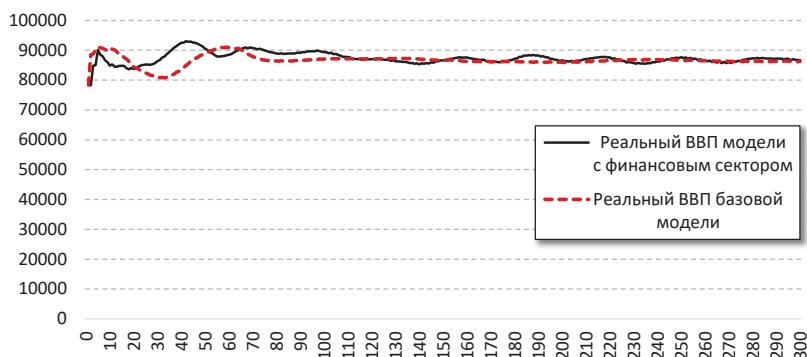


Рис. 11. Динамика реального ВВП

Fig. 11. Dynamics of real GDP

жет свидетельствовать о нейтральности модельной экономики к монетарной экспансии. В то же время результаты для реальных среднелюшевых потребительских расходов (рис. 12) показывают наличие незначительного восходящего тренда, что может объясняться ростом объемов кредитования в последние периоды.

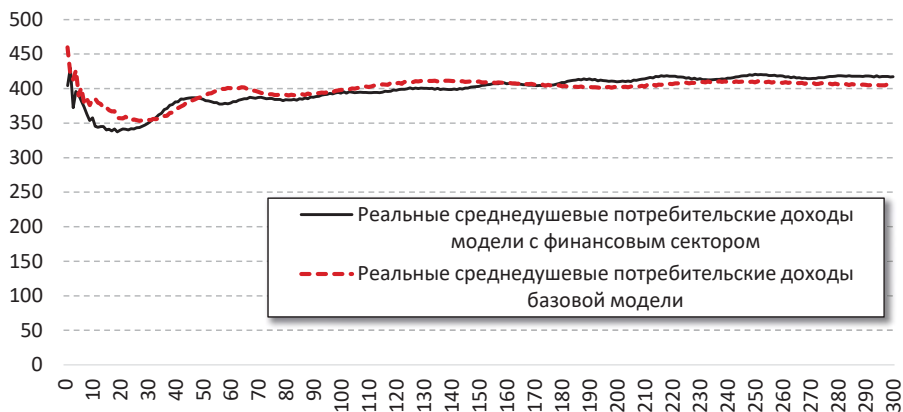


Рис. 12. Динамика реальных среднелюшевых потребительских расходов

Fig. 12. Dynamics of real average per capita consumer expenditures

Заклучение

В рамках данного исследования построена и откалибрована агент-ориентированная модель российской экономики с добавлением финансового сектора, включающего коммерческий и центральный банк. Для включения в модель банковской составляющей потребовалось разработать модели работы вновь введенных агентов в их взаимодействии с домашними хозяйствами, правительствами, государственными компаниями и фирмами.

В целом результаты вычислений показали работоспособность построенной модели. Модель воспроизводит поведение макроэкономических показателей и достаточно адекватно отражает поведение агентов на финансовом рынке. Наблюдаемая динамика не противоречит экономической логике и стилизованным фактам. Наличие подобного инструмента позволит в дальнейшем проводить сценарные расчеты для формирования эффективной государственной экономической политики в денежно-кредитной сфере.

В то же время в модели используется несколько упрощенный подход, поэтому она на данном этапе не подходит для полноценного воспроизведения всех деталей денежного обращения и для прогнозирования. Дальнейшими шагами развития финансового блока является введение нескольких банков, системы одобрения и отклонения заявок на кредиты, а именно рейтинговой системы, основанной на расчете ожидаемой вероятности дефолта, которая может оказывать влияние на формирование окончательных ставок по кредитам, неоднородности домашних хозяйств через появление периодичности зарплатных выплат и др.

В проведенном эксперименте с новым вариантом модели происходило снижение процентной ставки с 7 до 3 %. Для достижения целей по инфляции и, соответственно, стимулирования роста расходов домашних хозяйств путем роста их кредитования снижение процентной ставки в долгосрочном периоде может стать ограниченным (достигнуть нулевого уровня). В связи с этим становится актуальным вопрос введения в модель других инструментов денежно-кредитной политики Центрального банка. Кроме того, по мере развития рынка труда может быть рассмотрено модифицированное двухмандатное правило Тейлора, когда целями Центрального банка являются как инфляция, так и экономический рост. Можно учесть также безработицу, если ввести ее в модель путем модификации рынка труда.

Необходимо также отметить, что на данном этапе инфляция представлена только инфляцией спроса, т. е. путем уменьшения процентной ставки в экономике стимулируются расходы домашних хозяйств, в результате чего растет объем кредитования. При этом в рамках данной работы не модифицировался механизм определения величины инвестиций фирмами, поэтому при постоянной численности домашних хозяйств как такового реального экономического роста не возникает. Можно предположить, что в дальнейших симуляциях динамика бы продолжилась, и возникла ситуация высокой закредитованности домашних хозяйств. Это обосновывает актуальность развития инвестиционного механизма в модели и обеспечения инфляции издержек.

Таким образом, другими направлениями доработки модели могут выступать усовершенствования правила определения величины инвестиций фирмами и др. Благодаря наличию в модели кредитования фирм возможно более адекватное отражение инвестиционных решений в экономике с учетом меняющейся ставки по кредитам, являющихся базой для экономического роста.

Список литературы

1. **Суслов В. И., Доможиров Д. А., Ибрагимов Н. М., Костин В. С., Мельникова Л. В., Цыплаков А. А.** Агент-ориентированная многорегиональная модель «затраты – выпуск» российской экономики // Экономика и математические методы. 2016. Т. 52, № 1. С. 112–131.
2. **Новикова Т. С., Цыплаков А. А.** Разработка социальной политики на основе сочетания агент-ориентированного и межотраслевого подходов. // Журнал Новой экономической ассоциации. 2021. Т. 4, № 52, С. 12–36.
3. **Farmer J. D., Foley D.** The economy needs agent-based modelling // Science. 2009. Vol. 460. P. 685–686. DOI: 10.1038/460685a
4. **Fagiolo G., Roventini A.** Macroeconomic policy in DSGE and agent-based models redux: new developments and challenges ahead // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2017. Vol. 20 (1). 37 p. DOI: 10.18564/jasss.3280 URL: <https://www.jasss.org/20/1/1.html>
5. **Gilbert N., Terna P.** How to build and use agent-based models in social science // Mind & Society. 2000. Vol. 1. P. 57–72. DOI: 10.1007/BF02512229

6. **Poledna S., Miess M. G., Hommes C., Rabitsch K.** Economic forecasting with an agent-based model // *European Economic Review*. 2023. Vol. 151. P. 104306.
7. **Пономаренко А., Синяков А.** Влияние усиления банковского надзора на структуру банковской системы: Выводы на основе агентно-ориентированного моделирования // *Деньги и кредит*. 2018. Т. 77, № 1. С. 26–50.
8. **Haldane A. G., Turrell A. E.** Drawing on different disciplines: macroeconomic agent-based models // *Journal of Evolutionary Economics*. 2019. Vol. 29. P. 39–66. DOI: 10.1007/s00191-018-0557-5
9. **Chan-Lau J. A.** ABBA: An agent-based model of the banking system. IMF Working Papers 2017/136. International Monetary Fund, 2017. 33 p.
10. **Khabibullin R., Ponomarenko A., Seleznev S.** Forecasting the implications of foreign exchange reserve accumulation with a microsimulation model // *Journal of Simulation*. 2022. Vol. 16. P. 298–311. DOI: 10.1080/17477778.2020.1813641
11. **Леонидов А. В., Нечитайло В. А., Серебрянникова Е. Е.** Топология сети межбанковского кредитования в агентной модели банковской системы // *Экономический журнал ВШЭ*. 2018. Т. 22. № 3. С. 387–417.
12. **Dawid, H., Gemkow S., Harting P., van der Hoog S., Neugart M.** Eurace@Unibi Model v1.0 User manual. Bielefeld University Working Paper. 2011. 167 p.
13. **Ивершинь А. В.** Подходы к учету финансового сектора в агент-ориентированном моделировании // *Мир экономики и управления*. 2022. Т. 22, № 4. С. 42–59. DOI 10.25205/2542-0429-2022-22-4-42-59
14. **Dawid H., Delli Gatti D.** Agent-based macroeconomics. In: Hommes C., LeBaron B. (eds.) *Handbook of computational economics*, vol 4. Elsevier, New York, 2018. pp. 63–156.
15. **Steinbacher M., Raddant M., Karimi F., Cuena E.C., Alfarano S., Iori G., Lux T.** Advances in the agent-based modeling of economic and social behavior // *SN Business & Economics*. 2021. vol. 1(7). P. 1–99.
16. **Центральный банк Российской Федерации.** Основные направления единой государственной денежно-кредитной политики на 2015 год и период 2016 и 2017 годов // *Вестник Банка России*. 2014. № 106 (1584). С. 3–27.
17. **Эскиндаров М. А., Масленников В. В., Абрамова М. А. и др.** Современная архитектура финансов России. М.: Когито-Центр, 2020. 488 с.
18. **Новикова Т. С., Цыплаков А. А.** Социальная политика в многоотраслевой агент-ориентированной модели. // *Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз*. 2020. Т. 13, № 3, С. 129–142.
19. **Доможиров Д. А., Ибрагимов Н. М., Мельникова Л. В., Цыплаков А. А.** Интеграция подхода «затраты – выпуск» в агент-ориентированное моделирование. Часть 1. Методологические основы // *Мир экономики и управления*. 2017. Т. 17, № 1. С. 86–99.

References

1. **Suslov V. I., Domozhirov D. A., Ibragimov N. M., Kostin V. S., Melnikova L. V., Tsyplakov A. A.** Agent-Based Multiregional Input-Output Model of the Russian

- Economy. *Economics and Mathematical Methods*, 2016, vol. 52, no. 1, pp. 112–131. (in Russ.)
2. **Novikova T. S., Tsyplakov A. A.** Social Policy Development Based on a Combination of Agent-Based and Inter-Industry Approaches. *Journal of the New Economic Association*, 2021, vol. 4, no. 52, pp. 12–36. (in Russ.)
 3. **Farmer J. D., Foley D.** The economy needs agent-based modelling // *Science*. 2009. Vol. 460. P. 685–686. DOI: 10.1038/460685a
 4. **Fagiolo G., Roventini A.** Macroeconomic policy in DSGE and agent-based models redux: new developments and challenges ahead. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 2017, vol. 20 (1), 37 pp. DOI: 10.18564/jasss.3280 URL: <https://www.jasss.org/20/1/1.html>
 5. **Gilbert N., Terna P.** How to build and use agent-based models in social science. *Mind & Society*, 2000, vol. 1, pp. 57–72. DOI: 10.1007/BF02512229
 6. **Poledna S., Miess M. G., Hommes C., Rabitsch K.** Economic forecasting with an agent-based model. *European Economic Review*, 2023, vol. 151, p. 104306.
 7. **Ponomarenko A., Sinyakov A.** Impact of Banking Supervision Enhancement on Banking System Structure: Conclusions from Agent-Based Modeling. *Russian Journal of Money and Finance*, 2018, vol. 77, no. 1, pp. 26–50. (in Russ.)
 8. **Haldane A. G., Turrell A. E.** Drawing on different disciplines: macroeconomic agent-based models. *Journal of Evolutionary Economics*, 2019, vol. 29, pp. 39–66. DOI: 10.1007/s00191-018-0557-5
 9. **Chan-Lau J. A.** ABBA: An agent-based model of the banking system. IMF Working Papers 2017/136. International Monetary Fund, 2017. 33 p.
 10. **Khabibullin R., Ponomarenko A., Seleznev S.** Forecasting the implications of foreign exchange reserve accumulation with a microsimulation model. *Journal of Simulation*, 2022, vol. 16, pp. 298–311. DOI: 10.1080/17477778.2020.1813641 (in Russ.)
 11. **Leonidov A. V., Nechitaylo V. A., Serebryannikova E. E.** Topology of the interbank lending network in the agent-based model of the banking system. *HSE Economic Journal*, 2018, vol. 22, № 3, pp. 387–417. (in Russ.)
 12. **Dawid H., Gemkow S., Harting P., van der Hoog S., Neugart M.** Eurace@Unibi Model v1.0 User manual. Bielefeld University Working Paper. 2011. 167 p.
 13. **Ivershin A. V.** Approaches to Accounting for the Financial Sector in Agent-Based modeling. *World of Economics and Management*, 2022, vol. 22, no. 4, pp. 42–59. DOI 10.25205/2542-0429-2022-22-4-42-59. (in Russ.)
 14. **Dawid H., Delli Gatti D.** Agent-based macroeconomics. In: *Hommes C., LeBaron B. (eds.) Handbook of computational economics*, vol 4. Elsevier, New York, 2018, pp. 63–156.
 15. **Steinbacher M., Raddant M., Karimi F., Cuena E.C., Alfarano S., Iori G., Lux T.** Advances in the agent-based modeling of economic and social behavior. *SN Business & Economics*, 2021, vol. 1(7), pp. 1–99.
 16. The Central Bank of the Russian Federation. Guidelines for the Single State Monetary Policy in 2015 and for 2016 and 2017, CBRF 2014, 45 p. URL: https://www.cbr.ru/Content/Document/File/48480/on_15-eng.pdf

17. **Eskindarov M. A., Maslennikov V. V., Abramova M. A., et al.** *Sovremennaya arhitektura finansov Rossii* [Modern Architecture of Finance in Russia]. Moscow, Kogito-Tsentr, 2020, 488 p. (in Russ.)
18. **Novikova T. S., Tsyplakov A. A.** Social Policy in a Multi-Regional Agent-Based Model. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, 2020, vol. 13, no. 3, pp. 129–142. (in Russ.)
19. **Domozhirov D. A., Ibragimov N. M., Melnikova L. V., Tsyplakov A. A.** Integration of Input–Output Approach into Agent-Based Modeling: Methodological Principles. *World of Economics and Management*, 2017, vol. 17, no. 1, pp. 86–99. (in Russ.)

Сведения об авторах

Ивершин Анастасия Викторовна, магистрант экономического факультета НГУ
WOS Research ID AAZ-5261-2021

Цыплаков Александр Анатольевич, кандидат экономических наук, ведущий научный сотрудник, доцент
SPIN: 77431
Scopus Author ID: 57192156252

Information about the Authors

Anastasia V. Ivershin, Student of the Faculty of Economics, Novosibirsk State University
WOS Research ID: AAZ-5261-2021

Alexander A. Tsyplakov, Candidate of Sciences (Economics), Associate Professor
SPIN: 77431
Scopus Author ID: 57192156252

*Статья поступила в редакцию 15.08.2024;
одобрена после рецензирования 20.10.2024; принята к публикации 20.10.2024*

*The article was submitted 15.08.2024;
approved after reviewing 20.10.2024; accepted for publication 20.10.2024*