

Научная статья

УДК 519.876.5; 330.45

JEL C63

DOI 10.25205/2542-0429-2022-22-4-42-59

Подходы к учету финансового сектора в агент-ориентированном моделировании

Анастасия Викторовна Ивершинь

Новосибирский государственный университет
Новосибирск, Россия

nastyia.ivershin.89@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1289-2467>

Аннотация

В статье обсуждаются подходы к введению финансового сектора в агент-ориентированные модели, а также различные варианты моделирования поведения агентов (фирм и домашних хозяйств), непосредственно взаимодействующих с финансовой системой. Агент-ориентированные модели могут объяснить, как некоторые важные макроэкономические явления могут быть порождены развивающимися сетями взаимодействий между ограниченно рациональными агентами в экономиках, где основные правила взаимодействия могут эндогенно эволюционировать с течением времени. Подчеркивается важность учета финансовой деятельности в макроэкономических моделях для воспроизведения циклов деловой активности и предсказания финансовых кризисов. Рассмотрение финансовых блоков в макроэкономических агент-ориентированных моделях включает в себя анализ подходов к моделированию выбора между сбережениями и потреблением домашних хозяйств, принятия решений о величине инвестиций фирм частного сектора, а также правил установления процентных ставок и нормативных ограничений со стороны банков. Предлагаются возможности улучшения подходов в части учета процентных ставок при моделировании сбережений домашних хозяйств, а также долгосрочного планирования на основе расчета дисконтированных денежных потоков с оценкой влияния изменения выпуска на рыночные цены при формировании инвестиционных планов фирм.

Ключевые слова

мультиагентная система, агент-ориентированное моделирование, финансовая система, банковский сектор

Источник финансирования

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 23-28-01499).

Для цитирования

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

© Ивершинь А. В., 2022

ISSN 2542-0429

Мир экономики и управления. 2022. Том 22, № 4
World of Economics and Management, 2022, vol. 22, no. 4

Approaches to Accounting for the Financial Sector in Agent-Based Modeling

Anastasiya V. Ivershin

Novosibirsk State University
Novosibirsk, Russian Federation

nastya.ivershin.89@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1289-2467>

Abstract

The article discusses approaches to introducing the financial sector into agent-based models, as well as various options for modeling the behavior of agents (firms and households) directly interacting with the financial system. Agent-based models can explain how some important macroeconomic phenomena can be generated by evolving networks of interactions between boundedly rational agents in economies, where the underlying rules of interaction can evolve endogenously over time. The importance of accounting for financial activity in macroeconomic models for reproducing business cycles and predicting financial crises is emphasized. Consideration of financial blocks in macroeconomic agent-based models includes an analysis of approaches to modeling the choice between household savings and consumption, making decisions about the amount of investment by private sector firms, as well as the rules for setting interest rates and regulatory limits by banks. Possibilities for improving approaches in terms of taking into account interest rates when modeling household savings are proposed, as well as long-term planning based on the calculation of discounted cash flows with an assessment of the impact of changes in output on market prices when forming firms' investment plans.

Funding

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

Keywords

multi-agent system, agent-based modeling, financial system, banking sector

For citation

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. (in Russ.) DOI 10.25205/2542-0429-2022-22-4-42-59

Введение

В своей фундаментальной работе Smets и Wouters показали, что новые кейнсианские модели DSGE, в которых используются байесовские методы оценки, демонстрируют такую же эффективность прогнозирования, как и сопоставимые модели временных рядов [1]. Эти модели стали «рабочей лошадкой» для центральных банков и других институтов, позволяющей заниматься экономическим прогнозированием и анализом бюджетной и денежно-кредитной политики [2].

Глобальный финансовый кризис, который в то время не был предсказан моделями DSGE, поставил под серьезные сомнения достоверность стандартных макроэкономических моделей и их способность давать эффективные политические рекомендации для предотвращения крупномасштабных экономических потрясений и преодоления их последствий [3]. Некоторые ученые утверждали, что в основу моделей необходимо поместить финансы, включить гетерогенных агентов и более поведенческую экономику. Например, как показал Vezeer D. J., в то время как большинство экономистов использовали основные модели равновесия

и не предвидели приближения кризиса, несколько ученых, которые использовали неортодоксальные модели учета, смогли предсказать кризис [4].

Макроэкономические агент-ориентированные модели (АОМ) ослабляют два ключевых допущения, лежащих в основе Нового неоклассического синтеза, – гипотезу о единственном репрезентативном агенте и гипотезу рациональных или согласованных с моделью ожиданий. Репрезентативные агенты заменяются отдельными «агентами», которые следуют четко определенным эмпирическим правилам поведения, а рациональные ожидания сводятся к ограниченной рациональности (т. е. агенты принимают решения на основе частичной информации и ограниченных вычислительных возможностей).

Уже ранние вклады в этот поток литературы показали, что эти типы моделей могут эндогенно генерировать колебания, напоминающие фактические деловые циклы, не полагаясь на внешние шоки, и подчеркивали до начала кризисов 2007 г. механизмы, с помощью которых распространение и обратная связь между реальной и финансовой сторонами экономики могут вызвать нестабильность и внезапные спады [5]. Эти свойства вместе со способностью включать в себя широкий спектр поведенческих допущений и представлять институциональные характеристики, которые могут иметь отношение к анализу реальных политических предложений, стимулировали интерес лиц, определяющих политику, к агентному макроэкономическому моделированию и привели к значительному увеличению числа исследований в этой области.

Агентные модели хорошо зарекомендовали себя для объяснения возникновения финансовой нестабильности. Макроэкономические явления, такие как банковские кризисы, каскады банкротств, эффекты домино, системный риск и кредитный кризис, эндогенно возникают в АОМ в результате взаимодействия между разнородными агентами [6; 7]. Это стимулировало интерес к агент-ориентированному моделированию многих исследователей и финансовые организации, такие как МВФ [8], ЦБ РФ [9], Банк Англии [10] и др. Хорошими примерами исследований в этой области являются работы Delli Gatti et al [11; 12], которые сосредоточились на роли топологии коммерческих и банковских кредитных сетей в распространении финансовой нестабильности посредством эффектов заражения, Cincotti et al., которые исследуют связь между деловыми циклами и денежными агрегатами и фокусируются на требованиях к нормативному капиталу для анализа динамики долга и бизнес-циклов [13]. Большое внимание также уделяется влиянию условий кредитования и финансов фирм на циклы деловой активности в контексте неполной асимметричной информации и несовершенных финансовых рынков [3].

1. Обзор основных АОМ с включением финансового блока

Моделирование финансовых рынков и их связи с макроэкономикой – одна из самых сложных областей для традиционных экономических теорий [14]. Для решения данной задачи современные агент-ориентированные модели включают связи между реальным и банковским сектором, однако методы моделирования деятельности агентов финансового сектора, а также других агентов, непосред-

ственно взаимодействующих с ним, различаются. Рассмотрим основные АОМ, в которых моделируется финансовый сектор.

1. Семейство моделей, предложенное Delli Gatti et al., использующее понятие сложных адаптивных тривиальных систем (CATS). Delli Gatti et al. использовали эту модель для изучения влияния денежно-кредитной политики [15]. Klimek et al. используют ее для анализа политики санации банков [16]. Используя аналогичную модель, Catullo et al. разработали индикаторы раннего предупреждения о приближающемся финансовом кризисе [17].

2. Модель Eurace [18; 19] – крупномасштабная модель экономики ЕС, разработанная в 2006 г. Приложения к взаимодействию между банковской системой и макроэкономикой и анализу последствий финансового регулирования представлены в [13; 19; 20].

3. Другим примером является макроэкономическая модель JAMEL, разработанная Salle и Seppacher [21; 22]. Модель исследует эмерджентные свойства, а именно чередование макроэкономических режимов подъема и спада.

4. Семейство моделей, разработанное Dosi et al., известное как модель «Кейнса и Шумпетера» (KS). Модель представляет собой мост между кейнсианскими теориями формирования спроса и шумпетерианскими теориями инноваций и экономического роста [6]. Модель была расширена для описания банков и макрофинансовых взаимодействий (и для использования в фискальной, денежно-кредитной и пруденциальной политике) и позволяет воспроизводить стилизованные факты, связанные с кредитными и банковскими кризисами [6].

5. Семейство моделей LAGOM позволяет анализировать взаимодействие производственного и банковского сектора, оценивая влияние условий кредитования и нормирования кредита в экономике на фазы роста и спада. Общая модель Lagom generic C, представлена в работе Mandel et al. [23]. Lagom regiO добавляет в типовую модель возможность указания различных экономических областей и предназначена для моделирования экономического роста взаимодействующих регионов [24].

Как правило, подобные модели включают фирмы, домашние хозяйства и финансовый (банковский) сектор, состоящий из одного или нескольких коммерческих банков и Центральный банк, также в модель могут быть введены агенты правительств федерального и регионального уровня. В общем случае фирмы и домашние хозяйства взаимодействуют с финансовым сектором через предъявление спроса и предложение на банковские продукты (кредиты и депозиты), которые непосредственно зависят от правил поведения этих агентов, заданных в рамках АОМ. Рассмотрим наиболее важные из них (см. табл. 1).

2. Спрос домашних хозяйств на финансовые ресурсы

Важное замечание состоит в том, что все модели не предполагают зависимость уровня сбережений/спроса на кредит от уровня процентной ставки ввиду того, что используются модели сглаживания потребления на основе ожидаемых доходов (применяется теория перманентного дохода). Соответственно сбережения определяются как разница текущего дохода и «сглаженного» (перманентного)

с учетом процентов по сбережениям прошлого периода. Однако в реальности д/х реагируют на изменение процентных ставок, и это стоит учитывать в модели.

Что касается определения бюджета потребления домохозяйств, то линейные правила, основанные на богатстве и доходе, стали доминирующим выбором при разработке АОМ. Большинство АОМ среднего размера предполагают наличие по крайней мере такого финансового актива, как депозиты в банках. Для CATS, KS, JAMEL, LAGOM богатство домохозяйств состоит только из вкладов. В Eurase домохозяйство может хранить богатство в виде ликвидности (депозиты в банках), в виде портфеля акций, выпущенных фирмами и банками, а также в виде государственных облигаций.

Во многих моделях семейства KS применяется наиболее упрощенное правило, не предполагающее наличие сбережений: $C_t = Y_t$.

Базовой моделью перманентного дохода в рамках АОМ можно считать правило Дитона [Deaton, 1992]. В качестве перманентного дохода выступает средний доход за несколько месяцев. Каждый период домохозяйство принимает решение о потреблении согласно формуле (1):

$$C_t = \begin{cases} X_t, & \text{если } Y_t \leq Y_t^p, X_t \leq Y_t^p \\ Y_t^p, & \text{если } Y_t \leq Y_t^p, X_t > Y_t^p \\ Y_t^p + \delta(Y_t - Y_t^p), & \text{если } Y_t > Y_t^p \end{cases}, \quad (1)$$

где C_t – потребление домохозяйства, Y_t – доход, X_t – все активы домохозяйства (в наличной форме и депозиты), Y_t^p – ожидаемый в периоде t доход, определяемый как среднее за последние несколько месяцев, δ – доля избытка дохода, направляемая на сбережения.

В модели JAMEL также используется понятие перманентного дохода как среднего за предыдущие несколько периодов. Доля потребления от перманентного дохода задается через норму потребления s . Домохозяйство имеет некоторое целевое значение объема наличных денег на руках (cash on hand) и в зависимости от отклонений от данного параметра определяет уровень потребления. Если ликвидные активы относительно «невелики», домохозяйство тратит фиксированную долю среднего дохода. Если ликвидность «высокая», домохозяйство потребляет весь средний доход и долю избыточных денежных остатков, определяемых как разница между текущими и целевыми денежными запасами по формуле (2):

$$C_t = \begin{cases} sY_t^p, & \text{если } m_t \leq m_t^T \\ Y_t^p + c_m(m_t - m_t^T), & \text{если } m_t > m_t^T \end{cases}, \quad (2)$$

где m_t – объем наличных денег домохозяйства в период t , m_t^T – целевое значение наличных денег на руках домохозяйства, c_m – коэффициент при отклонении денежных остатков от целевого уровня.

В модели Eurase предлагается следующая модель формирования ожидаемого потребления: $C_t^e = Y_t^p + \kappa(W_t - \Phi Y_t^p)$, где C_t^e – ожидаемое потребление в период t (домохозяйство откладывает выделенную сумму для покупки частных товаров), Y_t^p – средний за предыдущие несколько периодов доход, κ – предельная склонность к сбережению дополнительного дохода, W_t – общее благосостояние домохозяйства, Φ – целевой уровень отношения благосостояния к уровню дохода.

Моделирование финансовой системы значимых АОМ для экономических систем

Modeling the Financial System in Meaningful ABM for Economic Systems

	CATS	Eurace	JAMEL	K+S	LAGOM
Характеристика					
Уровень потребления д/х	Фиксированная доля общего богатства	Правило буферного запаса	Правило буферного запаса	Домашние хозяйства потребляют весь доход	Правило Дитона
Структура сбережений	Сбережения отсутствуют	Банковские депозиты и акции/облигации	Все сбережения хранятся в наличных деньгах	Сбережения отсутствуют	Сберегательные счета, получающие проценты
Определение объемов производства	Основан на ожидаемом спросе	Основан на ожидаемом спросе	Определяется размером рабочей силы	Пропорционально ожидаемому спросу с учетом текущих часов	На уровне ожидаемого спроса
Инвестиции фирм	На основе долгосрочной (адаптивной) оценки потребности в капитале	Основаны на выборе объемов производства и NPV будущих ожидаемых денежных потоков	Зависит от спрогнозированного NPV на основе прошлых продаж и целевого показателя левериджа	Определяются по желаемому объему выпуска с учетом выбытия	Фиксированная доля инвестиций, если коэффициент использования производственных мощностей превышает порог
Предложение кредита	Уменьшается в зависимости от кредитного плеча заемщика	Полное обслуживание спроса до нормативных ограничений	Все кредитные требования удовлетворяются	Предложение фирмам на основе ранжирования по соотношению к ликвидности/продажам	Все кредитные требования удовлетворяются

Окончание табл.

Характеристика	SATS	Eurase	JAMEL	K+S	LAGOM
Предложение кредита	Уменьшается в зависимости от кредитного плеча заемщика	Полное обслуживание спроса до нормативных ограничений	Все кредитные требования удовлетворяются	Предложение фирмам на основе ранжирования по соотношению к ликвидности/продажам	Все кредитные требования удовлетворяются
Процентная ставка	Увеличивается с кредитным плечом заемщика	Наценка с поправкой на риск на ставку ЦБ	Фиксированная ставка (растет при продлении срока платежа)	Фиксированная надбавка к ставке ЦБ или надбавка к ставке ЦБ с поправкой на риск	Правило Тейлора (единая для финансового сектора)
Нормативные ограничения	Минимальное требование к капиталу	Требование к капиталу	Отсутствуют	Глобальная верхняя граница кредита пропорциональна общей сумме депозитов за предыдущий период	Отсутствуют
Процентная ставка Центрального банка	Безрисковая ставка как параметр модели	Правило Тейлора	Правило Тейлора	Фиксированная ставка ЦБ или правило Тейлора	Правило Тейлора

Источник: составлено автором.

В большинстве АОМ спрос на кредит исходит только от производственного сектора и определяется финансовыми потребностями фирм, однако задолженность домашних хозяйств и потребительский кредит играют важную роль как в качестве инструментов финансового планирования для домашних хозяйств, так и в качестве активов на балансе финансовых учреждений, поэтому должны быть представлены в моделях.

3. Спрос фирм на финансовые ресурсы

Размер физических инвестиций фирм, производящих потребительские товары, в большинстве моделей выводится из потенциальной потребности в расширении в связи с текущим производственным планом. В этих инвестиционных правилах долгосрочное планирование не оказывает влияния на модели инвестирования, что, вероятно, довольно близоруко, поскольку приобретенный физический капитал будет доступен фирме в течение длительного периода времени. Исключением в этом отношении является CATS, где инвестиции основаны на целевом уровне капитала, который рассчитывается на основе прошлых потребностей в капитале в течение длительного интервала времени. Хотя это правило кажется менее близоруким, оно по-прежнему не предполагает какого-либо явного перспективного планирования фирмы. Необходимо отметить наличие проблемы определения уровня инвестиций фирмами – во многих моделях они определяются исходя из прогнозируемого спроса, т. е. не отражают стратегические цели фирмы. В моделях, которые учитывают долгосрочный аспект инвестиционного планирования, также есть незакрытые вопросы – так, не определено изменение цен в ответ на изменение объема выпуска фирмы, что должно быть учтено при выборе стратегической цели. Внешнее финансирование фирм во всех рассматриваемых моделях, за исключением Eurase, ограничивается банковскими кредитами.

Примером моделирования инвестиций на основе расчета дисконтированных денежных потоков могут служить работы [25; 26]. Выбор уровня инвестиций осуществляется за счет оптимизации функции дисконтированных денежных потоков, зависящих от дополнительных поступлений выручки за счет роста выпуска и величины инвестиций. В модели учитываются амортизация и ожидаемая инфляция, которая влияет на ожидаемую цену продукции. Однако модель не учитывает ограниченную рациональность агентов, изменение расходов на прирост выпуск продукции, а также изменение цены на свою продукцию при росте ее предложения на рынке [26].

Кроме того, в большинстве АОМ спрос фирмы на ресурсы (капитал и труд) диктуется решением о масштабе деятельности, которое обычно определяется наблюдаемым прошлым спросом на товары, производимые фирмой. Потенциальные изменения цен на различные ресурсы не играют никакой распределительной роли.

Общей чертой кредитного рынка в сочетании с правилами инвестирования в рассматриваемых моделях является то, что фирмы не принимают во внимание индуцированные процентные платежи при принятии решений о своих выпусках и целях инвестиций, хотя сумма кредита, в которой они нуждаются, и процентная ставка влияют на их финансовое положение. Следовательно, влияние базовой

ставки центрального банка и формы процентного правила, которое банки обычно используют, в этих моделях слабое.

Delli Gatti et al. предполагают, что фирма явно учитывает свой баланс при принятии решения о производстве [12]. Фирма устанавливает целевое значение леввериджа λ_t^T , где левверидж определяется как отношение долга (банковских кредитов) к собственному капиталу. Тогда выпуск фирмы при производственной функции $Y_t = K_t^\beta$ ограничен соотношением: $Y_t \leq ((1 + \lambda_t^T) E_t)^\beta$, где E_t – собственный капитал фирмы.

Так, если затраты превышают внутренние доступные средства, у фирмы возникает дефицит финансирования. Таким образом, моделируется спрос на кредит в CATS и JAMEL. Разрыв в финансировании определяется согласно формуле: $F_t = \max(X_t - M_t; 0)$, где F_t – разрыв ликвидности, X_t – операционные затраты в период t , M_t – объем доступной ликвидности для покрытия операционных затрат.

Следующим важным шагом является рассмотрение поведения агентов, непосредственно формирующих банковский сектор – коммерческих банков и Центрального банка (ЦБ), выступающего регулятором в финансовой системе.

4. Поведение коммерческих банков

Большинство макроэкономических АОМ [6; 11] и более поздние работы с моделью KS по-прежнему предполагают, что кредиты выдаются в начале периода и погашаются в конце периода. Эта гипотеза не позволяет понять неотъемлемое несоответствие между краткосрочностью банковских обязательств (т. е. депозитов до востребования) и типичной долгосрочностью банковских активов (т. е. кредитов), актуальность которых резко проявляется во время кредитного кризиса. Большая часть кредитного риска, который несут кредиторы, связана с этим временным измерением кредита [3].

В CATS фирмы предъявляют спрос на кредит в соответствии с возникшим дефицитом финансирования. Для простоты имеется только один банк, который определяет как процентную ставку, так и количество кредитов, предоставляемых каждой фирме, на основе оценки финансовой неустойчивости фирмы, отражаемой леввериджем. Для каждой фирмы-заемщика f в каждый период банк может рассчитать коэффициент леввериджа λ_{ft} . Банк оценивает зависимость между индивидуальной вероятностью банкротства p_{ft}^d и индивидуальным леввериджем λ_{ft} : $p_{ft}^d = p_{ft}^d(\lambda_{ft})$. Расчетная вероятность дефолта является возрастающей функцией кредитного плеча. Для простоты предполагается, что банк является нейтральным к риску: он будет давать ссуду с высокой степенью риска, поскольку доход от ссуды этой фирме не меньше, чем доход от инвестирования в альтернативный безрисковый актив, который измеряет альтернативную стоимость кредита. Следовательно, процентная ставка для фирмы f устанавливается на уровне: $R_{ft} = \frac{R}{1 - p_{ft}^d}$, где R – базовая безрисковая процентная ставка банка в период t . Из этого следует, что процентная ставка, взимаемая банком с f -й фирмы, увеличивается с безрисковой ставкой и леввериджем фирмы.

В JAMEL есть только один банк, который удовлетворяет спрос на кредит с фиксированной процентной ставкой и сроком погашения (одинаковые для всех фирм-заемщиков). Если же фирма вступает в период финансового кризиса и становится неспособной подтвердить свои долговые обязательства в соответствии с графиком, ссуда становится «сомнительной», и банк поднимает процентную ставку и продлевает срок погашения до другого фиксированного значения.

В Eurasec банк оценивает вероятность дефолта следующим образом: $p_{ft}^d = 1 - e^{-\lambda_{ft}}$. На основе рассчитанной вероятности дефолта определяется кредитный риск фирмы: $cr_{ft} = p_{ft}^d * Loan_{ft}$, где cr_{ft} – кредитный риск, $Loan_{ft}$ – сумма кредита. Процентная ставка, взимаемая банком с фирмы, определяется по формуле: $R_{ft} = R + \gamma_t cr_{ft} \eta_{ft}$, где γ_t – некоторая наценка банка к безрисковой ставке R , η_{ft} – случайная величина из распределения на отрезке $[0; 0,01]$, моделирующая операционные издержки банка. Наценка γ_t определяется на основе следующего правила: $\gamma_{t+1} = \gamma_t + k(\gamma_t - \gamma_{t-1})g_t$, где k – некоторый коэффициент, g_t – темп прироста прибыли банка.

В модели, представленной в работе Delli Gatti et al., процентная ставка по кредиту для фирм моделируется также на основе леввериджа по следующей формуле: $R_{ft} = R(1 + k \times \mu(\lambda_{ft}))$, где k – некоторый параметр, $\mu(\lambda_{ft})$ – возрастающая функция, зависящая от леввериджа фирмы, R – безрисковая ставка процента [12].

Недостатком данных подходов является тот факт, что выдача кредита не эндогенна при расчете показателя леввериджа. Однако данный факт учитывает, к примеру, работы [14; 26]. На основе аналогичной предыдущей рассмотренной модели с линейной функцией $\mu(\lambda_{ft})$ (без константы) рассчитывается процентная ставка [26].

В модели, рассмотренной в работе Caiani, в отличие от всех представленных выше моделей банки не ориентируются на ключевую ставку, а отталкиваются от среднерыночной процентной ставки прошлого периода [3]. Процентные ставки банков по кредитам i_t^b зависят от сравнения коэффициента текущего капитала банка CR_t^b и общего целевого показателя кредитного риска банка CR_t^T , определяемого для простоты как среднее значение по сектору за прошлый период, что отражает формула (3):

$$i_t^b = \begin{cases} \overline{i_{t-1}}(1 + FN), & \text{если } CR_t^b < CR_t^T \\ \overline{i_{t-1}}(1 - FN) & \text{иначе} \end{cases}, \quad (3)$$

где FN – случайная величина из заранее заданного нормального распределения.

Когда банки капитализированы больше, чем хотелось бы, они пытаются еще больше расширить свой баланс, привлекая больше клиентов на кредитном рынке, предлагая процентную ставку ниже, чем в среднем у их конкурентов. В противоположном случае фирмы хотят уменьшить свои риски: более высокая процентная ставка имеет двойной эффект – делает банковские кредиты менее привлекательными и увеличивает маржу банков.

Дискриминация фирм по процентным ставкам по кредитам основывается на расчете вероятности дефолта в каждом из 20 последующих периодов с использованием логистической функции на основе процентной разницы между прогно-

зируемыми операционными потоками фирмы и величиной платежа по кредиту заемщика. Банки готовы удовлетворить спрос агентов на кредит, когда ожидаемая доходность больше или равна нулю. В противном случае банк все еще может быть готов предоставить некоторый кредит, если существует меньшая сумма займа, для которых ожидаемая доходность неотрицательна [3].

АОМ Центрального банка в авторстве Пономаренко А.А. и др. предполагает, что агенты могут держать депозиты только в одном банке, но привлекать кредиты у любых банков [9]. Банки корректируют свою политику в отношении процентных ставок в зависимости от изменения своего баланса: они стремятся улучшить показатели ликвидности за счет ограничения долгосрочного кредитования и привлечения большего объема депозитов путем установки банками премий по процентным ставкам по кредитам и депозитам в зависимости от их показателей ликвидности и достаточности капитала. Также учитывается конкуренция и давление со стороны рынка. После установки премий банки корректируют свои процентные ставки, если премии существенно отличаются от среднерыночных. Ставки по кредитам также зависят от доступности обеспечения по каждому заемщику [9].

Период кредитования в большинстве АОМ предполагается равным фиксированному значению или определяется как обратная величина к вероятности дефолта, например, в [14].

Таким образом, процентная ставка по депозитам в большинстве моделей равна процентной ставке, установленной Центральным банком [6].

Что касается процентной ставки, которую банки взимают с фирм, то большинство АОМ следует подходу, при котором к процентной ставке Центрального банка применяется надбавка, размер которой зависит от леввериджа заемщика и степени риска. С другой стороны, между моделями существует существенная неоднородность в отношении возможного нормирования фирм на кредитном рынке. В то время как в некоторых МАВМ удовлетворяются все кредитные требования (JAMEL, LAGOM), другие вводят вероятность одобрения кредита (CATS) или предполагают (нормативные) верхние пределы объема кредита, который может предоставить банк (Eurace, KS).

Однако в данном случае возникает вопрос, как устанавливается ставка для домохозяйств. Как уже упоминалось, в большинстве моделей не рассматриваются кредиты домохозяйств, а в тех, где рассматриваются, процентная ставка определяется как фиксированная наценка к ставке ЦБ или равна ей, поэтому данный вопрос является актуальным для рассмотрения.

Если говорить о межбанковском рынке, то он чаще всего не моделируется в АОМ, а встречается в ряде работ, целью которых является описание банковского сектора, например, [27; 28; 29]. Так, в работе Tedeschi реальный сектор рассматривается как черный ящик, который требует банковских кредитов и создает экзогенные шоки для депозитов банков, а банковский сектор реагирует на эти внешние факторы своим оптимальным поведением на кредитном и межбанковском рынках [30].

Стресс-тесты, которые оценивают устойчивость банков к негативным макроэкономическим потрясениям, стали важными инструментами для управления рисками в банках и руководства банковским надзором и политикой регулирования.

Межбанковские кредиты, необходимые для покрытия дефицита ликвидности, связывают банки друг с другом. Grilli et al. представляют модель, состоящую из разнородных фирм, получающих кредиты в нескольких банках. Межбанковские связи возникают, когда банки, испытывающие потребность в кредитах, превышающую их ресурсы, занимают у других банков. Хрупкость банковской системы пропорциональна количеству межбанковских связей. Потрясения, возникающие в реальном секторе у фирм, влияют на кредитный банк и, возможно, на остальную часть банковской системы через межбанковские риски. Потрясения в активной части баланса банков распространяются через межбанковскую сеть и потенциально могут вызвать каскад сбоев. Требования к капиталу могут помочь защитить систему, снизив вероятность каскада сбоев в работе банковской системы, но как только он начался, требования к капиталу могут иметь обратный эффект, ускоряя скорость сбоев [29].

Модель Ророуан эндогенно генерирует замораживание межбанковского рынка, когда ликвидность истощается, а межбанковские процентные ставки становятся высокими. Эта ситуация может привести к банкротству компаний, банковским кризисам и возникновению глубоких спадов. Риск заморозки рынка на межбанковском рынке требует своевременного вмешательства Центрального банка как кредитора ликвидности последней инстанции для сдерживания негативных последствий на других рынках [28].

5. Установление Центральным банком ключевой процентной ставки

В большинстве АОМ на банк распространяется регулятивное пруденциальное ограничение, состоящее из минимального требования к капиталу базельского типа: банк должен иметь капитал, по крайней мере равный заданной доле рискованных активов. Нормативное ограничение можно переформулировать в терминах максимального левериджа: банк может держать неликвидные (рискованные) активы до максимума, равного кратной величине чистой стоимости.

Существуют исследования, которые сравнивают показатели экономики при фиксированной ставке центрального банка и правиле Тейлора, ориентированном на выпуск и инфляцию после отрицательного шока производительности. Они показывают, что при использовании правила Тейлора снижение выпуска происходит намного слабее, а уровень цен остается ниже по сравнению со сценарием с фиксированной процентной ставкой. Главный положительный эффект правила Тейлора в этих условиях заключается в том, что оно помогает поддерживать спрос фирм на кредит и ликвидность выше, чем при фиксированной ставке центрального банка.

Самым простым способом моделирования процентной ставки центрального банка является предположение о ее неизменности во времени, т. е. предполагается фиксированное значение параметра [6].

Во многих АОМ (LAGOM, KS и др.) центральный банк использует правило Тейлора в условиях таргетирования инфляции с учетом сглаживания для установления ключевой процентной ставки, что в целом соответствует текущей по-

литике Центрального банка России [31]. Базовая модель описывается согласно формуле (4):

$$i_t = \bar{r}_t + \pi_t + \delta * (\pi_t - \pi_t^{target}), \quad (4)$$

где \bar{r}_t – реальная равновесная процентная ставка, i_t – номинальная ключевая ставка процента, π_t – инфляция в периоде t , π_t^{target} – целевой уровень инфляции, δ – коэффициент при отклонении инфляции от целевого уровня.

Разумным дополнением к базовой модели является учет сглаживания политики Центрального банка, что встречается во многих DSGE моделях, но не так распространено в АОМ. Примером модели выступает работа Poledna (2019) – формула (5):

$$i_t = \delta_1 * i_{t-1} + (1 - \delta_1) * (\bar{r}_t + \pi_t + \delta_2 * (\pi_t - \pi_t^{target})), \quad (5)$$

где δ_1 – коэффициент сглаживания, \bar{r}_t – реальная равновесная процентная ставка, i_t – номинальная ключевая ставка процента, π_t – инфляция в периоде t , π_t^{target} – целевой уровень инфляции, δ_2 – коэффициент при отклонении инфляции от целевого уровня.

Разрыв выпуска чаще всего не рассматривается в правиле Тейлора в АОМ ввиду того, что в рамках данного подхода сложно определить понятие равновесного уровня выпуска (ВВП). Однако встречаются модели, в которых учитывается возможность включения в политику Центрального банка отклонения безработицы от некоторого целевого уровня, например, LAGOM, KS. Правило двойного мандата Тейлора хорошо согласуется, например, со стратегией денежно-кредитной политики, проводимой Федеральной резервной системой. Тогда обобщенное правило Тейлора можно представить формулой (6):

$$i_t = \delta_1 * i_{t-1} + (1 - \delta_1) * (\bar{r}_t + \pi_t + \delta_2 * (\pi_t - \pi_t^{target}) + \delta_3 * (u_t^{target} - u_t)), \quad (6)$$

где δ_1 – коэффициент сглаживания, \bar{r}_t – реальная равновесная процентная ставка, i_t – номинальная ключевая ставка процента, π_t – инфляция в периоде t , π_t^{target} – целевой уровень инфляции, δ_2 – коэффициент при отклонении инфляции от целевого уровня, u_t – уровень безработицы в периоде t , u_t^{target} – целевой уровень безработицы, δ_3 – коэффициент при отклонении инфляции от целевого уровня.

Dosi et al. сравнивают экономическую динамику, возникающую в модели KS, если центральный банк нацелен только на инфляцию, с динамикой по правилу Тейлора с двойным мандатом, реагирующим на инфляцию и безработицу. Авторы обнаружили, что правило двойного мандата значительно увеличивает темпы роста экономики. Кроме того, двойной мандат приводит к меньшей волатильности ВВП по сравнению с денежно-кредитной политикой, ориентированной исключительно на инфляцию. Положительный эффект от правила двойного мандата авторы объясняют более эффективной работой банковского сектора, снижением уровня банкротства банков и увеличением количества финансируемых и реализуемых инвестиционных проектов [6].

Таким образом, во многих АОМ процентная ставка, устанавливаемая центральным банком, либо фиксирована, либо подчиняется правилу Тейлора. Например, в LAGOM, KS и Eurase предполагается, что процентная ставка соответствует стандартному правилу Тейлора в гибком режиме таргетирования инфляции. Таким образом различные варианты правила Тейлора являются доминирующим выбором для определения процентной ставки центрального банка, однако в некоторых АОМ правило процента также рассматривается как фиксированный параметр модели.

Заключение

Возрастающая сложность и взаимосвязанность мировых экономик и финансовых рынков требуют радикального изменения парадигмы реального экономического мышления. Финансовый кризис 2007–2008 гг., последовавший за ним экономический застой и очень медленное восстановление экономики западных стран продемонстрировали все слабости стандартных экономических теорий и стандартной экономической политики.

Включение в агент-ориентированные модели финансового сектора позволяет описать многие реальные экономические явления и воспроизводить стилизованные факты.

Несмотря на разнородность повестки дня и целей различных АОМ, в сообществе возник консенсус относительно ряда ключевых особенностей поведенческих правил. Более сильная стандартизация некоторых «канонических» АОМ (по крайней мере для определенных частей модели), безусловно, может повысить сопоставимость полученных результатов и прозрачность механизмов проведения фискальной и денежно-кредитной политики. Тем не менее, также в свете продолжающихся дискуссий о степени детализации и методах моделирования поведения агентов, определенное разнообразие подходов, безусловно, желательно и должно иметь место. Представляется возможным совершенствование подходов моделирования финансового блока в рамках АОМ с целью улучшения качества воспроизведения и прогнозирования макроэкономической динамики и бизнес-циклов.

Список литературы

1. **Smets F., Wouters R.** Shocks and frictions in us business cycles: A bayesian DSGE approach. *American Economic Review*, vol. 97, no. 3, 2007, pp. 586 – 606.
2. **Brunnermeier M., Sannikov Y.** A macroeconomic model with a financial sector. *American Economic Review*, 2014. Vol 104 (2), pp. 379-421
3. **Caiani A., Caverzasi E., Gallegati M., Kinsella S., Stiglitz J. E.** Agent based-stock flow consistent macroeconomics: towards a benchmark model. *Journal of Economic Dynamics and Control*, vol. 69, 2016, pp. 375–408.
4. **Bezemer D. J.** No one saw this coming: Understanding financial crisis through accounting models. MPRA Paper 15892, University Library of Munich, Germany, 2009.
5. **Dosi G., Fagiolo G., Roventini A.** Animal spirits, lumpy investment, and endogenous business cycles. LEM Working Paper Series, 2005-4, 2006.

6. **Dosi G., Fagiolo G., Napoletano M., Roventini A., Treibich T.** Fiscal and monetary policies in complex evolving economies. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 52, 2015, pp. 166–189.
7. **Kirman A.** The economic crisis is a crisis for economic theory. *CESifo Economic Studies*, 56 (4), 2010, pp. 498–535.
8. **Chan-Lau Mr. Jorge A.** ABBA: An Agent-Based Model of the Banking System. *IMF Working Papers 2017/136*, International Monetary Fund, 2017.
9. **Пономаренко А., Селезнев С., Хабибуллин Р.** Прогнозирование последствий накопления международных резервов при помощи агентной модели // Банк России. Сер. докладов об экономических исследованиях, № 37, 2018.
10. **Turrell A.** Agent-based models: understanding the economy from the bottom up. *Bank of England Quarterly Bulletin*, Bank of England, vol. 56(4), 2016, pp. 173–188.
11. **DelliGatti D., Gaffeo E., Gallegati M.** Complex Agent-Based Macroeconomics: a Manifesto for a New Paradigm. *Journal of Economic Interaction and Coordination*, 5(2), 2010, pp. 111–135.
12. **DelliGatti D., Gallegati M., Cirillo P., Desiderio S., Gaffeo E.** *Macroeconomics from the Bottom-up*, Springer-Verlag, Berlin, 2011.
13. **Cincotti S., Raberto M., Teglio A.** The eurace macroeconomic model and simulator, in M. Aoki, K. Binmore, S. Deakin & H. Gintis, eds, 'Complexity and Institutions: Markets, Norms and Corporations', New York: Palgrave Macmillan, 2012, pp. 81–106.
14. **Assenza T., DelliGatti D., Grazzini J.** Emergent dynamics of a macroeconomic agent based model with capital and credit. *Journal of Economic Dynamics and Control* 50, 2015, pp. 5–28.
15. **DelliGatti, Desiderio S.** Monetary policy experiments in an agent-based model with financial frictions. *Journal of Economic Interaction and Coordination* 10, 2015, pp. 265–286.
16. **Klimek P., Poledna S., Farmer J., Thurner S.** To bail-out or to bail-in? answers from an agent-based model. *Journal of Economic Dynamics and Control* 50, 2015, pp. 144–154.
17. **Catullo E., Gallegati M., Palestrini A.** Towards a credit network based early warning indicator for crises. *Journal of Economic Dynamics and Control* 50, 2015, pp. 78–97.
18. **Deissenberg C., Van Der Hoog S., Dawid H.** Eurace: A massively parallel agent-based model of the European economy. *Applied Mathematics and Computation*, 204-2, 2008, pp. 541–552.
19. **Raberto M., Teglio A., Cincotti S.** Debt, deleveraging and business cycles: An agent-based perspective. *Economics – The Open-Access, Open – Assessment E-Journal*, 27:50, 2012.
20. **Teglio A., Raberto M., Cincotti S.** The impact of banks capital adequacy regulation on the economic system: an agent-based approach. *Advances in Complex Systems* 15, 2012.
21. **Seppacher P.** Flexibility of wages and macroeconomic instability in an agent-based computational model with endogenous money. *Macroeconomic Dynamics*, 16, 2012, pp. 284–297.

22. **Seppecher P., Salle I.** Deleveraging crises and deep recessions: a behavioural approach. *Applied Economics*, 47, 2015, pp. 3771–3790.
23. **Mandel A., Jaeger C., Fuerst S., Lass W., Lincke D., Meissner F., Pablo-Martí F., Wolf S.** Agent-based dynamics in disaggregated growth models. Centre d'Economie de la Sorbonne Working Paper 10077, 2010.
24. **Wolf S., Fuerst S., Mandel A., Lass W., Lincke D., Pablo-Martí F., Jaeger, C.** A multi-agent model of several economic regions. *Environmental Modelling & Software* 44, 2013, pp. 25–43.
25. **Дерюгина Е., Пономаренко А., Рожкова А.** Когда оценки кредитных разрывов являются достоверными? // Серия докладов об экономических исследованиях Банка России, № 34, 2018.
26. **Petrovic M., Bulent O., Andrea T., Marco R., Cincotti S.** Should I stay or should I go? An agent-based setup for a trading and monetary union. *Journal of Economic Dynamics and Control*, Elsevier, vol. 113(C), 2020.
27. **Ermolova M., Leonidov A.** Agent-based model of the Russian banking system: Calibration for maturity, interest rate spread, credit risk, and capital regulation. *Journal of Simulation*, vol. 15, no. 1-2, 2021, pp. 82–92.
28. **Popoyan L., Napoletano M., Roventini A.** Winter is possibly not coming: Mitigating financial instability in an agent-based model with interbank market. LEM Papers Series 2019/11, Laboratory of Economics and Management (LEM), Sant'Anna School of Advanced Studies, Pisa, Italy, 2019.
29. **Grilli R., Tedeschi G., Gallegati M.** Markets Connectivity and Financial Contagion. *Journal of Economic Interaction and Coordination*, 2015, pp. 1 – 18.
30. **Tedeschi G., Vidal-Tomas D., Delli-Gatti D., Gallegati M.** The macroeconomic effects of default and debt restructuring: An agent based exploration. *International Review of Economics & Finance*, Elsevier, vol. 76(C), 2021, pp. 1146–1163.
31. **Blattner T. S., Margaritov E.** Towards a robust monetary policy rule for the euro area. ECB Working Paper No. 1210, 2010.

References

1. **Smets F., Wouters R.** Shocks and frictions in us business cycles: A bayesian DSGE approach. *American Economic Review*, vol. 97, no. 3, 2007, pp. 586 – 606.
2. **Brunnermeier M., Sannikov Y.** A macroeconomic model with a financial sector. *American Economic Review*, 2014. Vol 104 (2), pp. 379-421
3. **Caiani A., Caverzasi E., Gallegati M., Kinsella S., Stiglitz J. E.** Agent based-stock flow consistent macroeconomics: towards a benchmark model. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 2016, vol. 69, pp. 375–408.
4. **Bezemer D. J.** No one saw this coming: Understanding financial crisis through accounting models. MPRA Paper 15892, University Library of Munich, Germany, 2009.
5. **Dosi G., Fagiolo G., Roventini A.** Animal spirits, lumpy investment, and endogenous business cycles. *LEM Working Paper Series*, 2005-4, 2006.
6. **Dosi G., Fagiolo G., Napoletano M., Roventini A., Treibich T.** Fiscal and monetary policies in complex evolving economies. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 2015, no. 52, pp. 166–189.

7. **Kirman A.** The economic crisis is a crisis for economic theory. *CESifo Economic Studies*, 2010, no. 56 (4), pp. 498–535.
8. **Chan-Lau Mr. Jorge A.** ABBA: An Agent-Based Model of the Banking System. IMF Working Papers 2017/136, International Monetary Fund, 2017.
9. **Ponomarenko A., Seleznev S., Habibullin R.** Predicting the consequences of the accumulation of international reserves using an agent model. *Bank of Russia. Ser. economic research reports*, 2018, no. 37.
10. **Turrell A.** Agent-based models: understanding the economy from the bottom up. *Bank of England Quarterly Bulletin*, 2016, vol. 56(4), pp. 173–188.
11. **DelliGatti D., Gaffeo E., Gallegati M.** Complex Agent-Based Macroeconomics: a Manifesto for a New Paradigm. *Journal of Economic Interaction and Coordination*, 2010, vol. 5(2), pp. 111–135.
12. **DelliGatti D., Gallegati M., Cirillo P., Desiderio S., Gaffeo E.** Macroeconomics from the Bottom-up, Springer-Verlag, Berlin, 2011.
13. **Cincotti S., Raberto M., Teglio A.** The eurace macroeconomic model and simulator, in M. Aoki, K. Binmore, S. Deakin & H. Gintis, eds, 'Complexity and Institutions: Markets, Norms and Corporations', New York: Palgrave Macmillan, 2012. Pp. 81–106.
14. **Assenza T., DelliGatti D., Grazzini J.** Emergent dynamics of a macroeconomic agent based model with capital and credit. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 2015, no. 50, pp. 5–28.
15. **DelliGatti, Desiderio S.** Monetary policy experiments in an agent-based model with financial frictions. *Journal of Economic Interaction and Coordination*, 2015, no. 10, pp. 265–286.
16. **Klimek P., Poledna S., Farmer J., Thurner S.** To bail-out or to bail-in? answers from an agent-based model. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 2015, vol. 50, pp. 144–154.
17. **Catullo E., Gallegati M., Palestrini A.** Towards a credit network based early warning indicator for crises. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 2015, vol. 50, pp. 78–97.
18. **Deissenberg C., Van Der Hoog S., Dawid H.** Eurace: A massively parallel agent-based model of the European economy. *Applied Mathematics and Computation*, 2008, vol. 204(2), pp. 541–552.
19. **Raberto M., Teglio A., Cincotti S.** Debt, deleveraging and business cycles: An agent-based perspective. *Economics – The Open-Access, Open – Assessment E-Journal*, 2012, no. 27, p. 50.
20. **Teglio A., Raberto M., Cincotti S.** The impact of banks capital adequacy regulation on the economic system: an agent-based approach. *Advances in Complex Systems* 15, 2012.
21. **Seppacher P.** Flexibility of wages and macroeconomic instability in an agent-based computational model with endogenous money. *Macroeconomic Dynamics*, 2012, no. 16, pp. 284–297.
22. **Seppacher P., Salle I.** Deleveraging crises and deep recessions: a behavioural approach. *Applied Economics*, 2015, vol. 47, pp. 3771–3790.

23. **Mandel A., Jaeger C., Fuerst S., Lass W., Lincke D., Meissner F., Pablo-Marti F., Wolf S.** Agent-based dynamics in disaggregated growth models. Centre d'Economie de la Sorbonne Working Paper 10077, 2010.
24. **Wolf S., Fuerst S., Mandel A., Lass W., Lincke D., Pablo-Marti F., Jaeger, C.** A multi-agent model of several economic regions. *Environmental Modelling & Software*, 2013, vol. 44, pp. 25–43.
25. **Deryugina E., Ponomarenko A., Rozhkova A.** When credit score breaks are reliable? *Series of reports on economic research of the Bank of Russia*, 2018, no. 34.
26. **Petrovic M., Bulent O., Andrea T., Marco R., Cincotti S.** Should I stay or should I go? An agent-based setup for a trading and monetary union. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 2020, vol. 113(C).
27. **Ermolova M., Leonidov A.** Agent-based model of the Russian banking system: Calibration for maturity, interest rate spread, credit risk, and capital regulation. *Journal of Simulation*, 2021, vol. 15, no. 1-2, pp. 82–92.
28. **Popoyan L., Napoletano M., Roventini A.** Winter is possibly not coming: Mitigating financial instability in an agent-based model with interbank market. LEM Papers Series 2019/11, Laboratory of Economics and Management (LEM), Sant'Anna School of Advanced Studies, Pisa, Italy, 2019.
29. **Grilli R., Tedeschi G., Gallegati M.** Markets Connectivity and Financial Contagion. *Journal of Economic Interaction and Coordination*, 2015, pp. 1–18.
30. **Tedeschi G., Vidal-Tomas D., Delli-Gatti D., Gallegati M.** The macroeconomic effects of default and debt restructuring: An agent based exploration. *International Review of Economics & Finance*, 2021, vol. 76(C), pp. 1146–1163.
31. **Blattner T. S., Margaritov E.** Towards a robust monetary policy rule for the euro area. ECB Working Paper No. 1210, 2010.

Информация об авторе

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

Information about the Authors

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

*Статья поступила в редакцию 19.01.2023;
одобрена после рецензирования 21.01.2023; принята к публикации 22.01.2023*

*The article was submitted 19.01.2023;
approved after reviewing 21.01.2023;; accepted for publication 22.01.2023;*