

УДК 004.94 :338

А.Л. Машкова, канд. техн. наук, ст. научный сотрудник, ЦЭМИ РАН (Россия, 117418, Москва, Нахимовский проспект, 47) (e-mail: aleks.savina@gmail.com)

О.А. Савина, д-р экон. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева» (Россия, 302026, Орел, ул. Комсомольская, 94) (e-mail: o.a.savina@gmail.com)

А.В. Маматов, канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Белгородский государственный национальный университет» (Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, 85) (e-mail: mamatovav@bsu.edu.ru)

Е.В. Новикова, аспирант, ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева» (Россия, 302026, Орел, ул. Комсомольская, 94) (e-mail: esty92@ya.ru)

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ В ОТРАСЛЕВОМ РАЗРЕЗЕ

В статье раскрываются вопросы математической формализации и алгоритмической реализации процессов экономической динамики. Для разработки компьютерной модели отраслевого развития экономики России был выбран агентный подход, позволяющий оценить результат управляющих воздействий как совокупности реакций на них отдельных людей и организаций.

В настоящее время в практике управления социально-экономическими системами различного уровня востребованы новые методы для оценки влияния кредитно-денежной, инвестиционной, налоговой и социальной политики на общественную стабильность и экономическую безопасность страны. Многообразие и стохастический характер факторов, влияющих на отраслевое развитие экономики России, обусловило необходимость проведения междисциплинарного исследования, сочетающего агентное имитационное моделирование, социально-экономического анализ, методы искусственного интеллекта и когнитивной психологии. В контексте разработки компьютерной модели экономики России в качестве механизмов реализации процессов экономической динамики рассматривается совокупность изменений конечного, промежуточного и инвестиционного спроса в экономике и ответная реакция рынка в виде изменения объемов выпуска продукции отдельными организациями, увеличения или сокращения потребности в персонале, финансовых ресурсах и оборудовании.

Управляемыми параметрами компьютерной модели являются мероприятия по реализации отраслевых и региональных программ развития, введение налоговых льгот для развивающихся производств и пр. Модель обеспечивает оценку влияния принимаемых управленческих решений на экономическую систему; в частности, при анализе различных вариантов отраслевых программ обеспечивается возможность сравнения их влияния на структуру экспорта – импорта и оценки импортозамещающего эффекта. Предлагаемый подход имеет существенные отличия от применяемых в настоящее время математических и программных моделей экономики и обеспечивает возможность прогнозирования неравновесных экономических систем в долгосрочной перспективе.

Ключевые слова: агент-ориентированная модель; отраслевая структура экономики; экономическое развитие; промежуточный спрос; инвестиционная программа.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-5-96-108

Ссылка для цитирования: Компьютерное моделирование процессов экономической динамики в отраслевом разрезе / А.Л. Машкова, О.А. Савина, А.В. Маматов, Е.В. Новикова // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 5(80). С. 96-108.

Введение

В условиях экспоненциального роста объема доступной информации и компьютерных мощностей возникает необходимость разработки новых методологических подходов и инструментальных

средств, позволяющих использовать открывающиеся информационно-вычислительные возможности в сферах прогнозирования, планирования и управления. Новые методы широко востребованы в практике управления социально-экономическими системами различного уров-

ня, в частности в управлении экономическим развитием России; оценке последствий кредитно-денежной, инвестиционной, налоговой и социальной политики на общественную стабильность и экономическую безопасность страны [8].

Под экономической динамикой понимается процесс развития хозяйственной системы, сопровождающийся непрерывным изменением объемов и структуры общественного производства, расширения или сокращения возможностей национальной экономики удовлетворять меняющиеся общественные потребности [16]. В контексте разработки компьютерной модели экономики России в качестве механизмов реализации процессов экономической динамики рассматривается совокупность изменений конечного, промежуточного и инвестиционного спроса в экономике и ответная реакция рынка в виде изменения объемов производства в соответствующих отраслях на каждом такте модельного времени.

Экономическая система в долгосрочном периоде является неравновесной. Решения каждого экономического субъекта оказывают влияние на решения связанных с ним субъектов и таким образом на динамику системы в целом. Поскольку численность и половозрастной состав населения подвергаются постоянным изменениям, совокупность решений жителей в следующем году всегда будет отличаться от совокупности решений, принятых в предшествующем. Помимо индивидуальных решений физических и юридических лиц на экономическую систему воздействует ряд внешних факторов, в том числе курс национальной валюты, спрос и цена на экспортируемые товары, в результате чего изменяются действия государства и юридических лиц.

С учетом перечисленных особенностей для разработки компьютерной модели отраслевого развития экономики России был выбран агентный подход, позволяющий оценить результат управляющих воздействий как совокупности реакций на них отдельных людей и организаций. Концепция агентного моделирования была предложена в 1990-х годах [3] и с тех пор получила широкое распространение в исследовании социальных, экономических и политических процессов [1-2,4-6]. Процесс агентного моделирования является индуктивным; его теоретическую основу составляют теория сложных систем, клеточных автоматов, теория игр и коллективного поведения. При разработке модели метод агентного моделирования сочетается с методами финансово-экономического анализа, искусственного интеллекта и анализа больших данных.

Предлагаемый подход имеет существенные отличия от применяемых в настоящее время математических и программных моделей экономики. В основе существующих математических моделей экономики лежат производственные функции, уравнения регрессии и общего экономического равновесия; в большинстве вычислительных моделей для описания динамики макроэкономической среды также применяются функциональные зависимости агрегированных показателей, что ограничивает их возможности для анализа процессов отраслевого развития. Межотраслевые балансовые модели, напротив, позволяют анализировать отраслевую структуру экономики, однако не обладают прогностическими возможностями в условиях рыночной экономики, так как не учитывают механизмы принятия решений экономическими агентами микроуровня.

Постановка задачи

Модель отраслевого развития экономики России имеет модульную структуру; демографические, экономические, финансовые процессы, образовательная система и государственное управление реализованы в отдельных модулях (рис. 1). С каждой организацией связан набор рабочих мест, за которыми закрепляются агенты – наемные работники. Производителями в модели являются нефинансовые коммерческие организации, которые в процессе своей деятельности осуществляют выплату зарплаты и налогов, межотраслевые поставки, оплату аренды, начисление амортизации, продажу конечной продукции, получение и возврат кредитов, определение финансового результата. Полученная прибыль в некото-

ром соотношении распределяется между акционерами и инвестированием в расширение и модернизацию производственных мощностей. Данное соотношение определяется динамикой рыночной ситуации. Каждому виду организаций соответствует своя система бухгалтерского учета, которая является адаптированной версией принятой в России системы. Хозяйственные операции и взаимные расчеты юридических лиц отражаются на их счетах и фиксируются в проводках; итоги деятельности за год отражаются в бухгалтерском балансе; для нефинансовых коммерческих организаций строится также отчет о прибылях и убытках. Отчетные бухгалтерские формы используются при оценке финансового состояния объектов, расчете инвестиционных программ и схем кредитования.

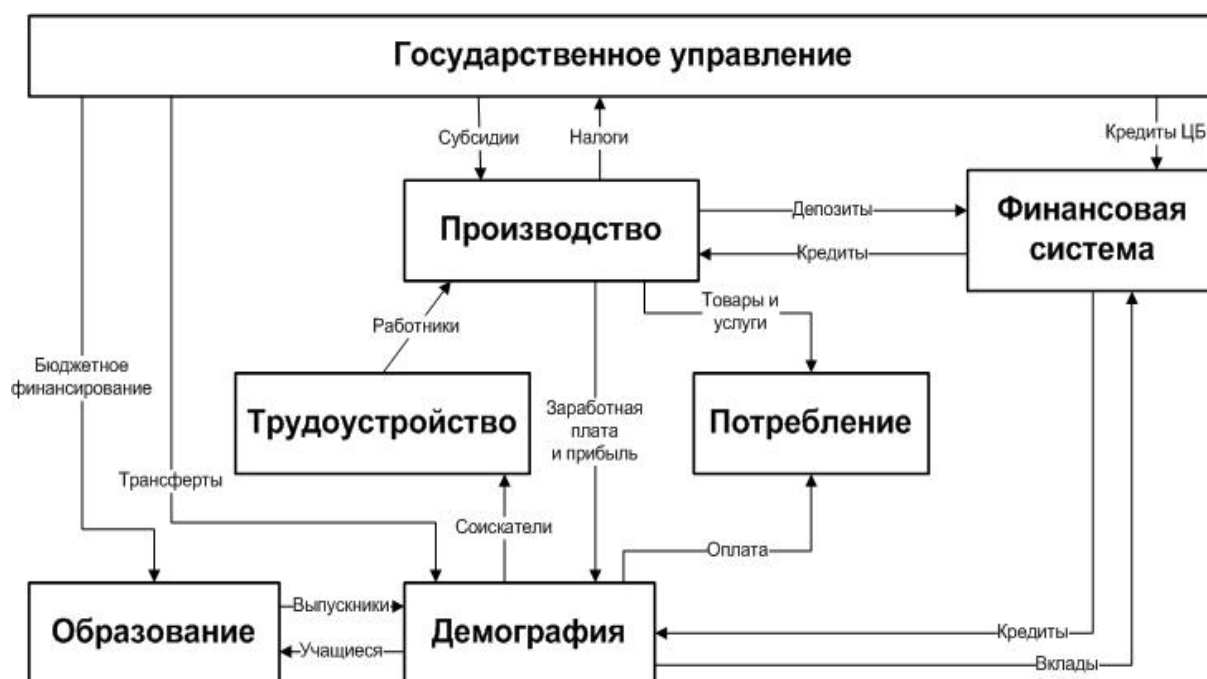


Рис. 1. Модульная структура модели отраслевого развития экономики России

Динамика промежуточного спроса в модели определяется соотношением платежеспособного спроса на конечную продукцию со стороны домашних хозяйств и общего объема произведенной конечной

продукции, находящейся в розничной продаже. Торговые агенты в каждом регионе сравнивают запасы продукции, оставшиеся в конце года, с запасами, имевшимися в начале (рис. 2).

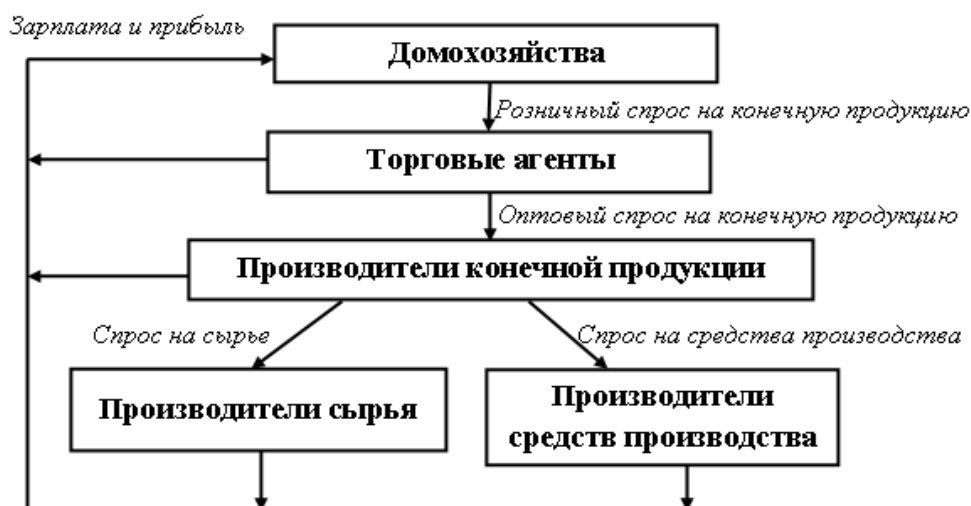


Рис. 2. Динамика конечного, промежуточного и инвестиционного спроса

Превышение объема текущих запасов над начальным уровнем означает увеличение конечного спроса по сравнению с предшествующим годом, вследствие чего оптовые заказы на конечную продукцию растут. Это вызывает петлю положительной обратной связи в виде увеличения производства в сопряженных отраслях (материалы и комплектующие), и так далее вплоть до добывающих производств. Рост объемов производства означает увеличение занятости и располагаемых доходов населения, в результате чего спрос на конечную продукцию еще больше растет. Уменьшение конечного спроса вызывает обратную реакцию снижения объемов выпуска и занятости, также приводящую к петле положительной обратной связи за счет уменьшения межотраслевых поставок и располагаемых доходов населения.

Метод, предложенный в статье

Модель отраслевого развития экономики России является результатом междисциплинарного исследования, она сочетает агентное имитационное моделирование, социально-экономического анализа, методы искусственного интеллекта и когнитивной психологии (рис.3). Агентами являются как отдельные индивиды и

домашние хозяйства, так и юридические лица различных организационных форм – бюджетные, коммерческие и финансово-кредитные организации [10]. С объектами связаны накопители, в роли которых выступают бюджеты государства, юридических лиц и домашних хозяйств.

Методы и статистические данные демографического и социального анализа используются для создания первоначального поколения агентов, установления взаимосвязей между ними и воспроизведения динамики населения. Вопросы создания первоначального поколения агентов, установления взаимосвязей между ними и воспроизведения динамики населения обсуждаются в [15].

Для отражения процедур принятия решений агентами используются разработки в области создания интеллектуальных агентов и когнитивной психологии. Это сочетание позволяет получить вычислимую архитектуру агента, ориентированную на решение социально-экономических задач [9]. Важный вклад в исследование вносит концепция ограниченной рациональности: процедуры принятия решений учитывают субъективные предпочтения и информационные ограничения агентов.



Рис. 3. Междисциплинарная схема исследования

Методы финансово-экономического анализа применяются в процедурах принятия решений агентами – юридическими лицами, а также для сбора и представления статистики в модели [11,12].

Моделирование

Моделирование процессов экономической динамики начинается с анализа потребностей в продукции отраслей, который определяет необходимость сокращения или увеличения производства (рис. 4). Для определения изменения объемов выпуска продукции для каждой организации в конце производственно-финансового цикла рассчитывается коэффициент изменения объемов выпуска:

$$kZ = 2 - \frac{CycleProduction + Z_{cur} - Z_{start} - Z_n}{CycleProduction}, (1)$$

где $CycleProduction$ – выпуск продукции за цикл; Z_{cur} – количество продукции, произведенной к текущему времени; Z_{start} – начальный уровень запасов на складе; Z_n – неудовлетворенные заказы.

Если коэффициент kZ больше единицы, то это свидетельствует о необходимости расширения производства, если меньше – то о его сокращении. Для анализа возможности увеличения производства проверяется загрузка оборудования, рабочих и возможность увеличения поставок ресурсов из других отраслей. Если оборудование в организации загружено полностью, то это свидетельствует о необходимости реализации инвестиционных программ. Поскольку расширение производства за счет вложений является длительным процессом, немедленное увеличение объемов производства в соответствии с возросшим спросом невозможно.

В случае необходимости расширения производства учитывается также коэффициент занятости рабочих. Если некоторые из них работают неполный рабочий день, то они переводятся на полную занятость. Предусмотрена также возможность нанять новых работников на бирже

труда. Расчет потребности в новых кадрах производится по формуле

$$L^* = [L_{cur} \cdot (Kl \cdot kZ - 1)] , \quad (2)$$

где L^* – количество рабочих, которых необходимо нанять; L_{cur} – количество рабочих в организации; kZ – коэффициент изменения объемов выпуска; Kl – коэффициент загрузки рабочих.

Для определения возможности увеличения межотраслевых поставок выполняется проверка всех поставщиков. Если отечественное производство не может удовлетворить растущие потребности организации в сырье и комплектующих, то осуществляется импорт необходимого количества продукции.

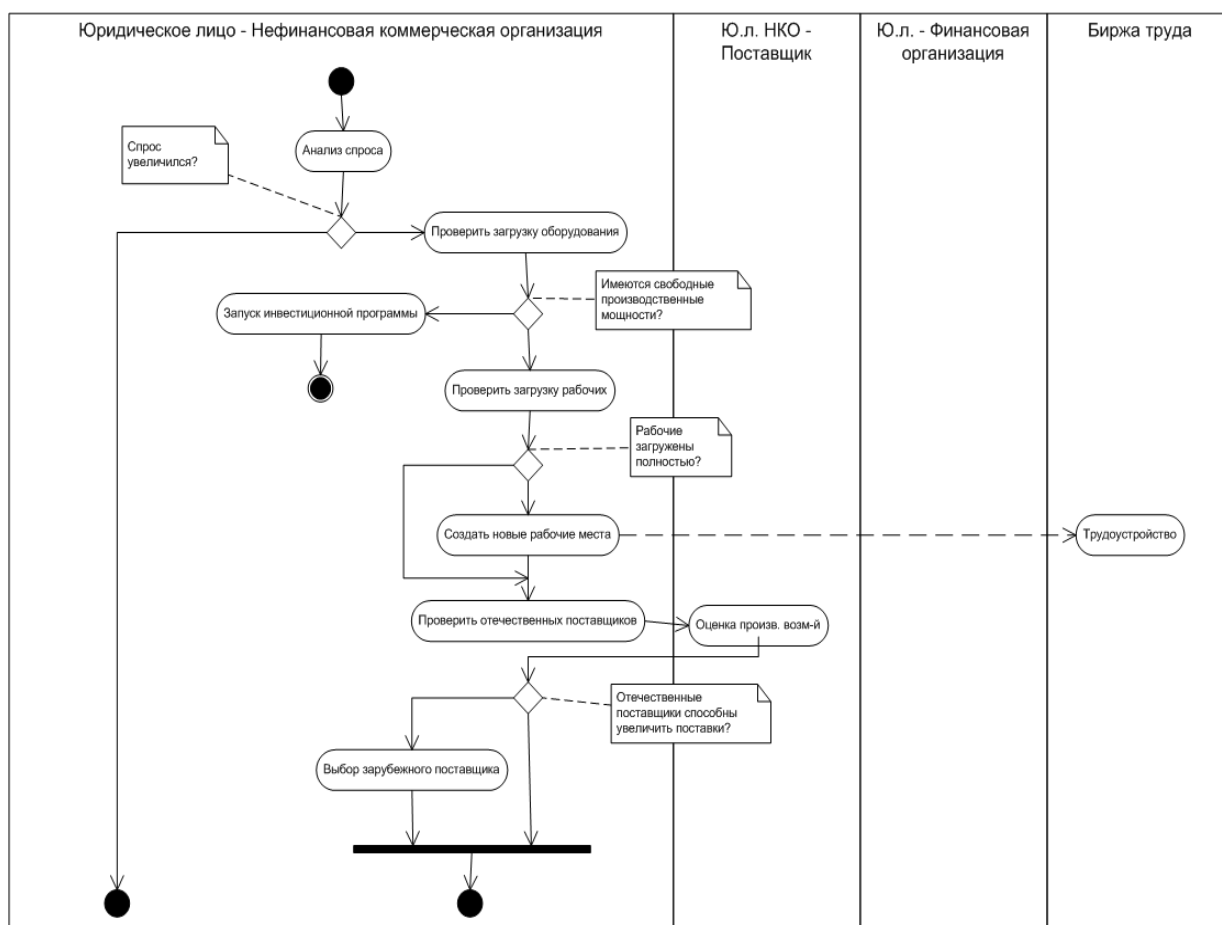


Рис. 4. Взаимодействие коммерческой организации с контрагентами в результате изменения спроса (начало)

Неудовлетворенные заказы организации рассчитываются по формуле

$$Zn = Zn + CycleProduction \times (kZ - inc_{av} - 1), \quad (3)$$

где $CycleProduction$ – выпуск продукции за цикл; kZ – коэффициент изменения объемов выпуска; inc_{av} – доступное увеличение объемов выпуска организацией.

Если спрос уменьшился, то предприятию необходимо сократить производство, а это влечет за собой освобождение площадей и оборудования, увольнение работников или перевод их на неполную занятость, а также сокращение поставок из других отраслей (рис. 5).

Высвобождение оборудования отражается через снижение коэффициента загрузки оборудования:

$$Kob = Kob \cdot kZ, \quad (4)$$

где Kob – коэффициент загрузки оборудования; kZ – коэффициент изменения объемов выпуска.

Увольнение работников сопровождается откреплением их от предприятия и

постановкой на биржу труда. Сокращению подлежат в первую очередь сотрудники с низкой квалификацией. Количество сотрудников, подлежащих сокращению, рассчитывается по формуле

$$L^* = [L_{cur} \cdot (0.95 - cur_{org} Kl)], \quad (5)$$

где L_{cur} – количество работников в организации; $cur_{org} Kl$ – коэффициент загрузки рабочих.

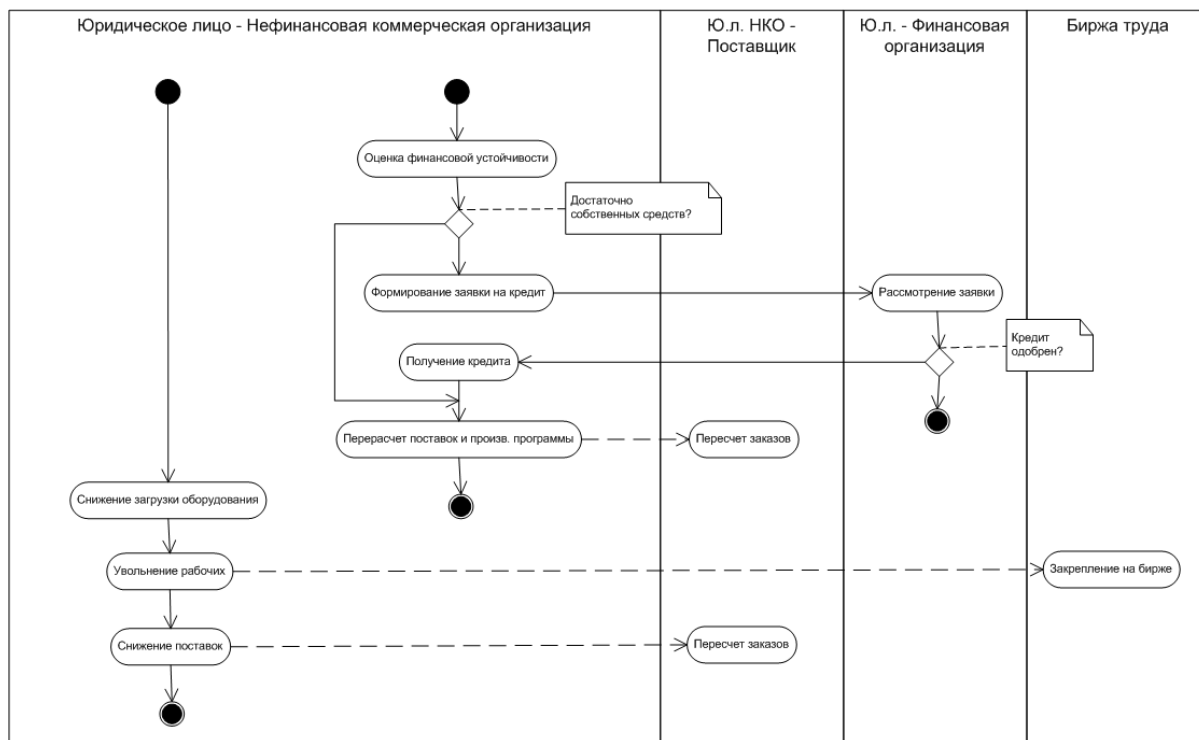


Рис. 5. Взаимодействие коммерческой организации с контрагентами в результате изменения спроса (окончание)

На динамику инвестиционного спроса влияет ряд факторов:

- расширение объемов производства, связанное с увеличением конечного спроса;
- модернизация производственных мощностей, обусловленная износом оборудования;
- реализации государственных инвестиционных программ в ключевых отраслях;
- выпуск новых видов продукции;
- внедрение инновационных производственных технологий;

- выход на рынок новых производителей;
- агрессивный захват рынка лидирующими производителями.

Уровень детализации модели позволяет отразить динамику инвестиций, обусловленную расширением объемов производства, модернизацией производственных мощностей и реализацией государственных инвестиционных программ, при этом оценивается совокупный рост или снижение инвестиций по отраслям. Влияние рыночных и инновационных факторов, обусловленных появлением

новых видов продукции и способов производства, оценивается в модели с помощью коэффициентов- мультипликаторов: $Inv_{rise} = (K_p + K_m) * (cur_{rise} + OC_{rise} + G)$, (6) где K_p – мультипликатор инвестиционного спроса, связанный с рыночными механизмами; K_m – мультипликатор инвестиционного спроса, обусловленный технологическими изменениями; cur_{rise} – объем инвестиционного спроса, рассчитанный по алгоритму; OC_{rise} – объем инвестиционного спроса, связанный с обновлением основных фондов; G – объем инвестиционного спроса по программам с государственной поддержкой.

Параметр OC_{rise} является фиксированным для отрасли и зависит от текущего износа основных фондов. Государственные инвестиции G задаются в качестве исходных параметров моделирования. Мультипликаторы инвестиционного спроса рассчитываются на основе ретро-

спективных данных о динамике выпуска и инвестиций по отраслям. Взаимодействие коммерческой организации с контрагентами в процессе реализации инвестиционной программы задается алгоритмом, представленным на рис. 6.

В качестве исходных данных для моделирования процессов экономической динамики используются сведения о динамике производства и инвестиций в различных отраслях, представленные в ежегодниках Федеральной службы государственной статистики и таблицах «затраты-выпуск» [17], а также отчетах Министерства экономического развития [14]. Данные о кредитовании юридических лиц приведены на сайте Министерства финансов [13] и Центрального банка России [13]. Данные об инвестиционных программах отдельных организаций доступны на портале государственной информационной системы промышленности [7].

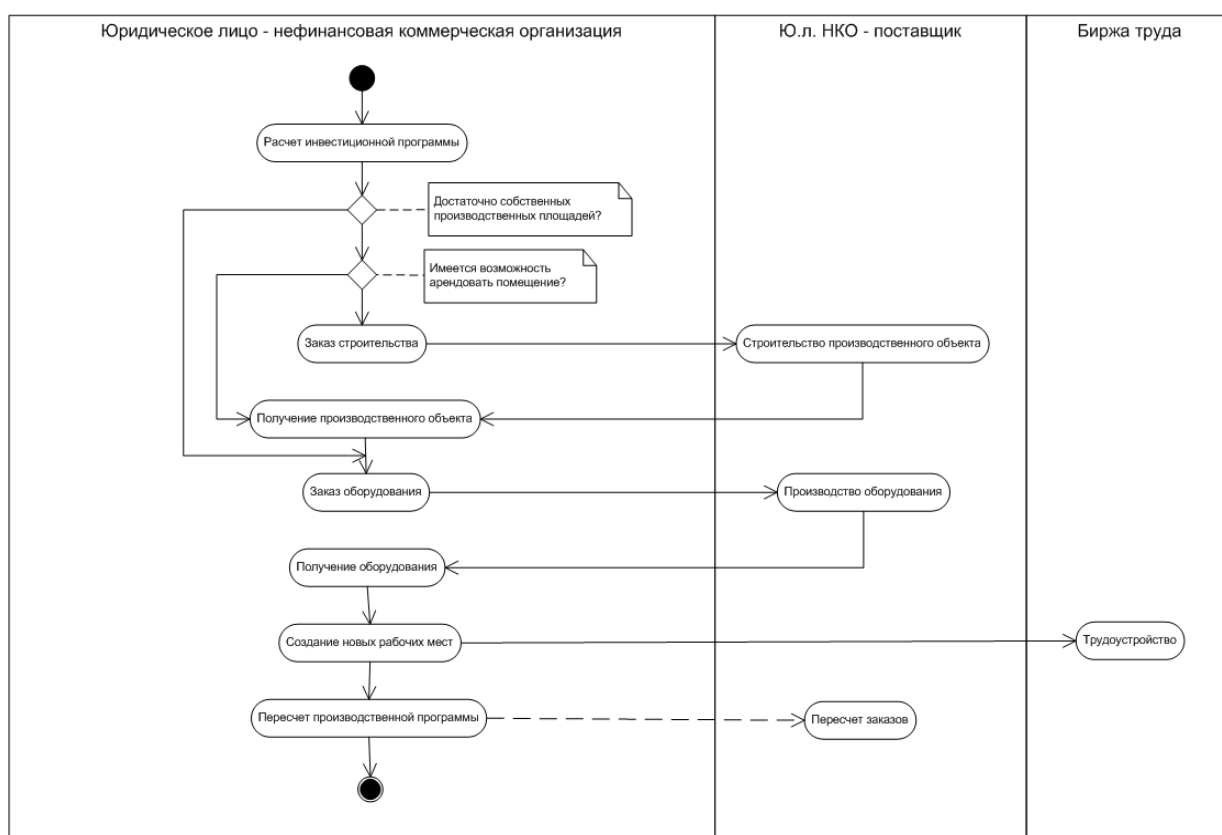


Рис. 6. Алгоритм реализации инвестиционной программы коммерческой организацией

Управляемыми параметрами компьютерной модели являются мероприятия по реализации отраслевых и региональных программ развития, введение налоговых льгот для развивающихся производств и пр. Модель обеспечивает оценку влияния принимаемых управленческих решений на экономическую систему; в частности, при анализе различных вариантов отраслевых программ обеспечивается возможность сравнения их влияния на структуру экспорта – импорта и оценки импортозамещающего эффекта.

Для оценки адекватности разработанной компьютерной модели была проведена серия вычислительных экспериментов на ретроспективных данных Федеральной службы государственной статистики за 2014-2015 годы, поскольку данные более поздних периодов в полном объеме еще не опубликованы. В качестве исходной информации были выбраны данные по использованию товаров и услуг в основных ценах за 2014 год (млн. рублей) [17]. Результаты тестирования приведены в таблице.

Сравнение результатов моделирования с ретроспективными данными
2014 года (млн. рублей)

Наименование отрасли	Валовое накопление основного капитала (2014 год)	Инвестиционный спрос (результаты моделирования)	Отклонение
Производство готовых металлических изделий	449309	389 447	-15,4%
Производство машин и оборудования (без производства оружия и боеприпасов)	1 390 822	1 463 006	4,9%
Производство офисного оборудования и вычислительной техники	135 153	141 911	4,8%
Производство электрических машин и электрооборудования без производства изолированных проводов и кабелей	252 816	325 457	22,3%
Производство электронных компонентов, аппаратуры для радио, телевидения и связи	334 641	368 105	9,1%
Производство медицинских изделий; средств измерений, контроля, управления и испытаний; оптических приборов, фото- и кинооборудования; часов	376 847	406 995	7,4%
Производство автомобилей, прицепов и полуприцепов	892 129	947 523	5,8%
Строительство	7 446 638	8 042 369	7,4%

Отклонение полученных в результате компьютерных экспериментов значений рассчитывалось в процентах к реальным данным. Средняя ошибка прогноза составила 5,8 %, дисперсия ошибок – 1 %. Это свидетельствует о достаточно высоком уровне точности расчетов, выполненных с использованием разработанной модели.

Обсуждение результатов и заключение

Предлагаемый подход к воспроизведению экономической динамики основан на интеграции принципов агентного моделирования, системной динамики, межотраслевых балансовых моделей и элементов искусственного интеллекта и обеспечивает формирование модели экспериментальной экономики. В модели воссоздается отраслевая и региональная структура экономики; динамика экономической среды формируется как результат решений и взаимодействий агентов микроуровня. Применение комплексного подхода позволяет учесть институциональные эффекты, в частности, «эффект колеи», путем воспроизведения в модели существующей социально-демографической и производственной структуры и хозяйственных связей. Отказ от математических функций экономической динамики в пользу детализированных структур данных и алгоритмов дискретного времени обеспечивает диверсификацию учитываемых ресурсных ограничений: сырья, материалов, оборудования, рабочей силы, финансовых активов, а также запаздывание и конкуренцию при их получении.

Агент-ориентированная компьютерная модель отраслевого развития экономики России обеспечивает возможность как теоретических исследований (оценка

влияния решений агентов-предприятий в отношении объемов производства на возникновение циклов Китчина; политики долгосрочного инвестирования, как частного, так и государственного, – на циклы Жюгляра и ритмы Кузнеца), так и практических расчетов (прогнозирование влияния экономической политики государства на процесс долгосрочного экономического развития и устойчивость социально-экономической системы России).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-310-00185.

Список литературы

1. Barros J. Exploring Urban Dynamics in Latin American Cities Using an Agent-Based Simulation Approach. In: Heppenstall A., Crooks A., See L., Batty M. (eds.) Agent-Based Models of Geographical Systems. 2012. P. 571–589. Springer, Dordrecht.
2. Bonabeau E. Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2002. № 99 (suppl 3). P.280-7287.
3. Epstein J. M., Axtell R. Growing artificial societies: Social science from the bottom up. 1996. Brookings Institution Press, Washington, DC.
4. Holland J.H., Miller J.H. Artificial Adaptive Agents in Economic Theory // American Economic Review, Papers and Proceedings. 1991. № 81. P.365–370.
5. Macy M., Willer R. From factors to actors: Computational Sociology and Agent-Based Modeling // Annual Review of Sociology. 2002. № 28. P. 143-166
6. Tesfatsion L. Agent-Based Computational Economics: Growing Economies from

the Bottom Up // Artificial Life. 2002. № 8(1). P. 55-82.

7. Государственная информационная система промышленности (официальный сайт). URL: <https://gisp.gov.ru/>. (Дата обращения 15.08.2018).

8. Иванов Д. В. Алгоритмизация процедур принятия решения для социотехнических объектов на основе теоретико-игровых методов и мультиагентных технологий в условиях риска // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, информатика, вычислительная техника. Медицинское приборостроение. 2016. №4(21). С. 11-18.

9. Машкова А.Л. Интеллектуальный агент в социальной среде: нечеткие оценки и правила принятия решений // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, информатика, вычислительная техника. Медицинское приборостроение. 2014. №3. С. 12-19.

10. Машкова А.Л. Прогнозирование долгосрочного развития макроэкономических систем на базе агент-ориентированных моделей // Государственное управление. Электронный вестник. 2016. № 57. С.49-68.

11. Машкова А.Л. Структура и математическое обеспечение программного модуля «Экономика и образование» агентной модели экспериментальной экономики // Вестник Брянского государственного технического университета. 2015. № 4(48). С. 148-154.

12. Машкова А.Л., Савина О.А. Управление финансовыми потоками агентов-предприятий в модели экспериментальной экономики // Управленческий учет. 2015. № 12. С. 89-98.

13. Министерство финансов Российской Федерации (официальный сайт). URL: <http://www.minfin.ru/>. (Дата обращения 18.09.2018).

14. Министерство экономического развития Российской Федерации (официальный сайт). URL: <https://минобрнауки.рф>. (Дата обращения 14.08.2018).

15. Новикова Е.В., Машкова А.Л. Создание первоначального поколения агентов в компьютерной модели отраслевого развития экономики России // Информационные технологии в науке, образовании и производстве: сборник трудов VII Междунар. науч.-техн. конф. Минск, 2015. С. 313-318.

16. Современный экономический словарь / под ред. Б.А. Райзберг, Л.Ш. Лозовский, Е.Б. Стародубская. М., 2002. 480 с.

17. Федеральная служба государственной статистики (официальный сайт). URL: <http://www.gks.ru/>. (Дата обращения 26.06.2018).

18. Центральный банк Российской Федерации (официальный сайт). URL: <http://www.cbr.ru/>. (Дата обращения 20.09.2018).

Поступила в редакцию 30.09.18

UDC 004.94 :338

A.L. Mashkova, Candidate of Engineering Science, Senior Researcher, CEMI RAS (Russia, 117418, Moscow, Nakhimov Avenue, 47) (e-mail: aleks.savina@gmail.com)

O.A. Savina, Doctor of Economic Sciences, Professor, Orel State University named after I.S. Turgenev (Russia, 302026, Orel, Komsomolskaya Str., 94) (e-mail: o.a.savina@gmail.com)

A.V. Mamatov, Candidate of Engineering Science, Belgorod State University (Russia, Belgorod, 308015, Pobedy Str., 85) (e-mail: mamatovav@bsu.edu.ru)

E.V. Novikova, Post-Graduate Student, Orel State University named after I.S. Turgenev (Russia, 302026, Orel, Komsomolskaya Str., 94) (e-mail: esty92@ya.ru)

COMPUTER MODELING OF SECTORAL ECONOMIC DYNAMICS

The article reveals the questions of mathematical formalization and algorithmic implementation of economic dynamics. To develop a computer model of sectoral development of the Russian economy, an agent-based approach was chosen, allowing to evaluate the result of control actions as a set of reactions to them of individuals and organizations.

At present, in the practice of managing social and economic systems of various levels, new methods are needed to assess the impact of monetary, investment, tax and social policies on social stability and economic security of the country. The diversity and stochastic nature of the factors influencing the sectoral development of the Russian economy necessitated an interdisciplinary study combining agent-based simulation modeling, socio-economic analysis, methods of artificial intelligence and cognitive psychology. In the context of developing a computer model of the Russian economy, the aggregate of changes in final, intermediate and investment demand in the economy and the market response in the form of changes in the output of individual organizations, increasing or decreasing the need for personnel, financial resources and equipment are considered as mechanisms for implementing the processes of economic dynamics.

Manageable parameters of the computer model are measures for the implementation of sectoral and regional development programs, introduction of tax incentives for developing industries, etc. The model provides assessment of the impact of managerial decisions on the economic system; in particular, when analyzing various variants of sectoral programs, it is possible to compare their influence on the structure of exports - imports and assess the import-substituting effect. The proposed approach has significant differences from the currently used mathematical and software models of the economy and provides the ability to predict non-equilibrium economic systems in the long term.

Key words: agent-based model; sectoral structure of the economy; economic development; demand; investment program.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-5-96-108

For citation: Mashkova A.L., Savina O.A., Mamatov A.V., Novikova E.V. Computer Modeling of Sectoral Economic Dynamics. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 5(80), pp. 96-108 (in Russ.).

References

1. Barros J. Exploring Urban Dynamics in Latin American Cities Using an Agent-Based Simulation Approach. In: Heppenstall A., Crooks A., See L., Batty M. (eds.) Agent-Based Models of Geographical Systems, 2012, pp. 571–589. Springer, Dordrecht.

2. Bonabeau E. Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating hu-

man systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2002, no. 99 (suppl 3), pp.280-7287.

3. Epstein J. M., Axtell R. Growing artificial societies: Social science from the bottom up. 1996. Brookings Institution Press, Washington, DC.

4. Holland J.H., Miller J.H. Artificial Adaptive Agents in Economic Theory.

American Economic Review, Papers and Proceedings, 1991, no. 81, pp.365–370.

5. Macy M., Willer R. From factors to actors: Computational Sociology and Agent-Based Modeling. *Annual Review of Sociology*, 2002, no. 28, pp. 143-166.

6. Tesfatsion L. Agent-Based Computational Economics: Growing Economies from the Bottom Up. *Artificial Life*, 2002, no. 8(1), pp. 55-82.

7. Gosudarstvennaya informacionnaya sistema promyshlennosti (oficial'nyj sajt). URL: <https://gisp.gov.ru/>. Data obrashcheniya 15.08.2018.

8. Ivanov D. V. Algoritmizaciya procedur prinyatiya resheniya dlya sociotekhnicheskikh ob"ektov na osnove teoretiko-igrovyyh metodov i mul'tiagentnyh tekhnologij v usloviyah riska. *Izvestiya Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, informatika, vychislitel'naya tekhnika. Medicinskoe priborostroenie*, 2016, no.4(21), pp. 11-18.

9. Mashkova A.L. Intellektual'nyj agent v social'noj srede: nechetkie ocenki i pravila prinyatiya reshenij. *Izvestiya Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, informatika, vychislitel'naya tekhnika. Medicinskoe priborostroenie*, 2014, no.№3, pp. 12-19.

10. Mashkova A.L. Prognozirovaniye dolgosrochnogo razvitiya makroehkonomicheskikh sistem na baze agent-orientirovannyh modelej. *Gosudarstvennoe upravlenie. Elektronnyj vestnik*, 2016, no. 57, pp.49-68.

11. Mashkova A.L. Struktura i matematicheskoe obespecheniye programmogo

modulya «Ekonomika i obrazovanie» agentnoj modeli ehksperimental'noj ehkonomiki. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2015, no. 4(48), pp. 148-154.

12. Mashkova A.L., Savina O.A. Upravlenie finansovymi potokami agentov-predpriyatij v modeli ehksperimental'noj ehkonomiki. *Upravlencheskij uchet*, 2015, no. 12, pp. 89-98.

13. Ministerstvo finansov Rossijskoj Federacii (oficial'nyj sajt). URL: <http://www.minfin.ru/> Data obrashcheniya 18.09.2018.

14. Ministerstvo ehkonomicheskogo razvitiya Rossijskoj Federacii (oficial'nyj sajt). URL: <https://minobrnauki.rf>. Data obrashcheniya 14.08.2018.

15. Novikova E.V., Mashkova A.L. Sozdaniye pervonachalnogo pokoleniya agentov v komp'yuternoj modeli otraslevogo razvitiya ehkonomiki Rossii. Informacionnye tekhnologii v nauke, obrazovanii i proizvodstve. Sbornik trudov VII Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferencii. Minsk, 2015, pp. 313-318.

16. Sovremennyy ehkonomicheskij slovar', ed. by Rajzberg B.A., Lozovskij L.Sh., Starodubskaya E.B., Moscow, 2002, 480 p.

17. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki (oficial'nyj sajt). URL: <http://www.gks.ru/>. Data obrashcheniya 26.06.2018.

18. Central'nyj bank Rossijskoj Federacii (oficial'nyj sajt). URL: <http://www.cbr.ru/>. Data obrashcheniya 20.09.2018.