

DOI: 10.17323/2587-814X.2023.1.18.36

Динамика инвестиций в России в условиях санкционных ограничений: прогноз на базе агент-ориентированной модели

А.Л. Машкова 

E-mail: aleks.savina@gmail.com

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева
Адрес: Россия, 302026, г. Орёл, ул. Комсомольская, 95

Центральный экономико-математический институт РАН
Адрес: Россия, 117418, г. Москва, Нахимовский пр-т, д. 47

Аннотация

Ситуация торговой войны между Россией и западными странами является беспрецедентной в новейшей истории как по масштабу вводимых ограничений, так и в силу их обоюдоострого характера, в результате чего испытывает трудности вся мировая экономическая система. Актуальной задачей становится выработка такой экономической политики России, которая позволит совершить быструю переориентацию на восточные рынки и использовать новые драйверы роста. Оценка эффективности предпринимаемых мер должна проводиться с использованием современных инструментов, одним из которых являются агент-ориентированные модели экономики. Поскольку в рамках моделей международных торговых отношений, разработанных в ряде стран, Россия не рассматривается в качестве ключевого игрока, для оценки вводимых против нее санкций потребовалась разработка нового инструмента — агент-ориентированной модели торговых войн между Россией, США, Китаем и Евросоюзом. Целью представленного в данной статье исследования является оценка потребности экономики России в дополнительных инвестициях в различные отрасли для масштабного импорта замещения продукции, поставляющейся из недружественных стран. Для ее достижения в агент-ориентированной модели воспроизводится существовавшая до начала военной спецоперации отраслевая структура экономик рассматриваемых стран и торговых отношений между ними, составляются сценарии возможных санкций и моделируются соответствующие им изменения в торговых отношениях между странами. В рамках сценарных расчетов проводилось три серии экспериментов: в первой серии для каждого

сценария оценивалась ожидаемая динамика ВВП России в текущем году в условиях организации программ импортозамещения в ключевых отраслях, и рассчитывалась стоимость этих программ; во второй серии исследовалась зависимость динамики ВВП от объема вложенных инвестиций; в третьей серии моделировалась динамика торговых отношений в трехлетнем периоде для двух вариантов инвестиционной политики в каждом сценарии. Результаты проведенных экспериментов также показывают, что влияние инвестиций на экономику проявляется тем сильнее, чем жестче вводимые санкции, и в этих условиях реализация инвестиционных программ позволяет ускорить восстановление экономики в среднем на 0,5% ВВП в год.

Ключевые слова: торговые войны, агент-ориентированная модель, санкции, сценарные расчеты, инвестирование

Цитирование: Машкова А.Л. Динамика инвестиций в России в условиях санкционных ограничений: прогноз на базе агент-ориентированной модели // Бизнес-информатика. 2023. Т. 17. № 1. С. 18–36. DOI: 10.17323/2587-814X.2023.1.18.36

Введение

После начала специальной военной операции России на Украине мир столкнулся с введением экономических санкций, беспрецедентных во многих отношениях. Во-первых, это масштаб ограничений, затрагивающий по ряду отраслей более половины торгового оборота со странами, не вовлеченными напрямую в военный конфликт, и не состоящими в договорах о военном сотрудничестве с конфликтующими странами, а в некоторых случаях и полностью блокирующих этот оборот. Во-вторых, это обоюдоострый характер вводимых ограничений, в результате которых страдает не только экономика России, но и экономика США и ЕС, а также нейтральных стран, поскольку провоцируется глобальный дефицит топлива, продовольствия, металлов, и связанные с ним инфляция, приостановка производств, рост безработицы. В наибольшей мере в сложившихся условиях страдают малообеспеченные слои населения, которые даже в развитых странах оказываются под угрозой голода, и встает вопрос, что это: недооценка последствий вводимых мер, или сознательное пренебрежение их влиянием на жизнь простых граждан? История может пролить свет на мотивы руководства стран, вводящих сейчас эти ограничения, а задачей текущего момента является выработка такой экономической политики России, которая позволит минимизировать нанесенный ущерб, а в перспективе даже использовать возникшие драйверы роста.

Для решения этой задачи эффективным инструментом могут послужить компьютерные модели экономики, интегрирующие имеющиеся данные о производстве, занятости и хозяйственных взаимосвязях между странами. Наиболее известным проектом в области разработки инструментальных средств для количественной оценки торговых войн между реальными государствами является The Global Trade Analysis Project (GTAP), объединяющий научных исследователей из разных стран [1, 2]. GTAP использует универсальную методологию моделирования, основанную на вычислимых моделях общего равновесия (CGE). В рамках GTAP был разработан ряд модельных комплексов, в том числе:

1. WorldScan, который моделирует торговлю 29 продуктами между 30 странами с наиболее крупными экономиками и объединенными группами из нескольких государств. Производство товаров и услуг в модели осуществляется с использованием промежуточных продуктов, труда и капитала, причем вклад этих параметров задается через параметры производственных функций. Спрос на товары и их предложение в каждой стране связаны со спросом и предложением этих товаров в других странах, цены на них учитывают возможности замещения, транспортные издержки и торговые барьеры. На основе комплекса WorldScan производилась оценка влияния изменений в тарифах на отдельные продукты и укрупненные отрасли, при этом моделировались

как последовательные изменения в отдельных странах, так и во всех одновременно. Результаты проведенных расчетов показали, какие отрасли являются наиболее чувствительными к торговой войне между Китаем и США, а также был сделан вывод, что Китай понесет большие потери как в случае симметричных двусторонних мер, так и при торговой войне мирового масштаба [3].

2. Модель многосекторной экономика GLOBE, разработанная в сотрудничестве Военно-морской академии США с Гогенгеймским университетом. GLOBE была использована для оценки последствий участия в торговых войнах стран, входящих в Североамериканскую зону свободной торговли, и попадающих под регулирование Североамериканского торгового соглашения [4].

3. Мультистрановая модель многосекторной экономики MIRAGRODEP, которая была разработана в Международном научно-исследовательском институте продовольственной политики (Вашингтон, США). MIRAGRODEP основана, в дополнение к методологии GTAP, на более общей модели MIRAGE (моделирование международных отношений в условиях прикладного общего равновесия). Основное внимание в этой модели уделяется торговле товарами между США, Китаем и Мексикой [5].

4. Глобальная модель торговой войны между Китаем и США, разработанная в сотрудничестве Институтом мировой экономики и политики Китайской Академии общественных наук и Центром международной торговли и экономики [6].

Перечисленные модели ориентированы на рассмотрение крупнейших мировых игроков, чаще всего США и Китая, иногда также стран ЕС. Несмотря на то, что в некоторых из представленных модельных комплексов Россия выделяется как отдельный участник, доступные публикации не дают оценки последствий экономических санкций для России, которые регулярно вводятся против нее с 2014 года. При этом ведущие мировые агентства начали крайне быстро давать негативные прогнозы для российской экономики: JP Morgan уже 28 февраля спрогнозировал падение ВВП на 20% во втором квартале, Всемирный банк в апреле годовое падение на 11,2%, а Bloomberg в мае – падение на 12%. Для противодействия такому негативному информационному воздействию на общественное мнение необходимо иметь собственные модельные комплексы, способные бы-

стро актуализировать прогнозы в изменяющихся условиях, и включающие Россию в качестве одного из ключевых участников мировой торговли. Эта задача реализуется коллективом ЦЭМИ РАН на базе агент-ориентированного подхода [7–11]. Разработанная модель торговых войн симулирует торговые взаимодействия между Россией, США, Китаем, Евросоюзом и объединенным остальным миром [12]. Проведенные в 2021 году серии расчетов не предполагали сценария такой глобальной торговой войны против России, которую мы наблюдаем в настоящее время, поэтому актуальной задачей становится адаптация модели к новым реалиям. В частности, целью данной работы является оценка потребности экономики России в дополнительных инвестициях в различные отрасли для масштабного импортозамещения продукции, поставляющейся их недружественных стран.

Процессы инвестирования в российскую экономику изучались с различных точек зрения: влияния инвестиционной и кредитно-денежной политики государства [13–15], иностранных инвестиций [16], распределения инвестиций между старыми и новыми технологиями [17]. Несмотря на сравнительно меньшую эффективность государственных инвестиций по сравнению с частными, показанную в работе [13], в сложившихся условиях роль государственных инвестиций в пострадавшие отрасли экономики возрастает.

Расчеты на разработанной модели позволяют оценить не только требуемые объемы инвестирования, но также и их влияние на переформирование цепочек поставок и динамику внутреннего продукта страны, а также риски, связанные с недостаточной инвестиционной активностью организаций и государства.

1. Методы

В качестве основного метода исследования было выбрано агент-ориентированное моделирование, позволяющее оценить динамику глобальной системы в результате взаимодействия различных агентов: стран, организаций и жителей [18, 19]. По сравнению с таким широко распространенным подходом к построению компьютерных моделей экономики как вычислимые модели общего равновесия (CGE), агент-ориентированные модели имеют ряд особенностей, которые определяют их способность воспроизводить сложные социально-экономические процессы:

1. Неоднородность агентов и их характеристик, что позволяет использовать для них различные модели поведения.

2. Прямое взаимодействие между агентами, влияющее на их решения.

3. Ограниченная рациональность агентов.

Основанные на этих принципах агент-ориентированные модели экономики (АСЕ) могут служить своего рода компьютерными лабораториями для оценки влияния политики на макроэкономическую динамику [20]. АСЕ-поход применяется для моделирования налоговой [21], денежно-кредитной [22, 23] и макропруденциальной политики [24, 25], а также регулирования рынка труда [26].

В разработанной модели торговых войн взаимодействие между агентами определяет направление и структуру товарно-денежных потоков между странами и их изменение под влиянием спроса и государственного регулирования. Представленное в данной работе исследование выполнено в соответствии со следующей методологией:

1. Воспроизведение в агент-ориентированной модели существующей отраслевой структуры экономик рассматриваемых стран и торговых отношений между ними (моделирование «как есть»). В непрерывно изменяющихся в данный момент условиях представляется корректным уточнить, что под существующей структурой понимается структура, существовавшая до начала спецоперации и последовавших за этим международных санкций.

2. Составление сценариев внешнеэкономической ситуации, учитывающие введенные и планируемые пакеты санкций.

3. Моделирование структурных изменений в торговых отношениях между странами в условиях разработанных сценариев при допущении о неограниченных инвестиционных возможностях организаций.

4. Оценка объема инвестиций, требуемых для увеличения выпуска в пострадавших от санкций отраслях, на основе выходных данных моделирования.

5. Моделирование изменений в торговых отношениях в условиях ограниченных инвестиционных возможностей организаций и стран.

2. Структура модели

Применение агент-ориентированного подхода позволяет достичь высокой степени детализации модели и отразить в модели торговых войн их по-

следствия для бюджетной системы, производства, занятости и доходов жителей (*рис. 1*). Для каждой страны, рассматриваемой в модели, воссоздается население в соответствии с его половозрастной структурой. Созданные агенты-жители участвуют в процессах производства (как сотрудники на рабочих местах) и потребления продукции, произведенной агентами-организациями.

Организации в модели являются укрупненными и представляют собой группу организаций одной отрасли в стране, для которых агрегируются их показатели: объем выпуска, численность рабочих мест и объем основных средств, характеризующий производственные мощности.

Торговые взаимосвязи в модели определяются через систему поставок организаций, при этом экспортные и импортные поставки формируют международный товарный обмен. Поставки в модели разделяются на три типа:

- ◆ промежуточные поставки сырья, материалов и комплектующих другим организациям, для удобства дальнейших расчетов разделяются на оборотные (напрямую зависящие от объемов выпуска) и внеоборотные;
- ◆ инвестиционные поставки основных средств, в которых выделяются основные (закупка машин, оборудования, зданий и сооружений) и дополнительные (закупки продукции прочих отраслей, отражаемые в отчетности как инвестиции);

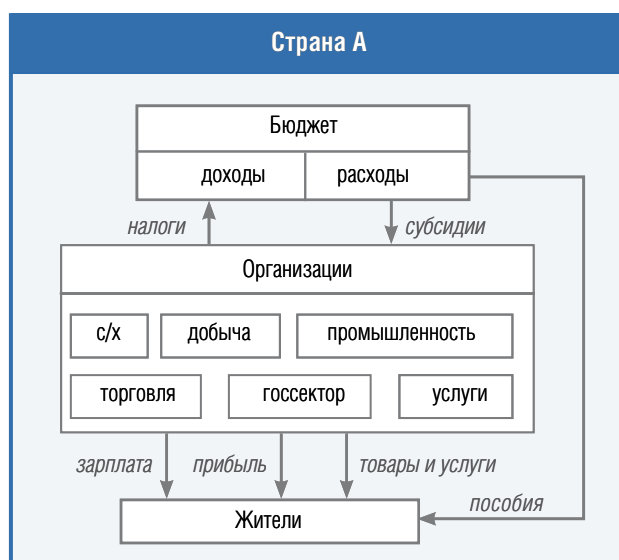


Рис. 1. Взаимосвязи между объектами модели в рамках одной страны.

- ◆ поставки конечной продукции, покупателями которой являются агенты-жители.

Поставка каждого типа может быть реализованной (в прошедшем периоде) и плановой (расчитанной на следующий период). Плановые поставки нужны для регулирования и расчета изменений в торговых отношениях. Для каждой поставки задается идентификатор поставщика и покупателя, дата, объем поставки, цена продажи и покупки. Цена продажи задается в валюте государства, в котором находится агент-поставщик, без налогов. Цена покупки состоит из цены продажи, налогов на продажи, налогов на экспорт и импорт (для международных поставок), и переводится в валюту государства, в котором находится агент-покупатель.

Государства имеют национальную валюту, курс которой задается относительно валют других стран. Бюджетная система каждого государства получает доходы через налоговую систему и осуществляет расходы, в том числе выплачивает пособия населению и субсидии организациям, а также финансирует государственный сектор экономики. Для государств на каждый модельный год строится бюджет, который включает доходную и расходную часть, представленную в виде укрупненных статей (*табл. 1*). Также функции государства в модели предполагают введение ограничений на импорт и экспорт продуктов некоторых отраслей.

Разработанная модель торговых войн рассматривает динамику торговых отношений между ря-

дом стран и их объединений: Россией, США, Китаем, Европейским союзом и остальным миром (*рис. 2*). Товарный обмен между странами определяется, с одной стороны, потребностями их экономик, с другой – действующими санкционными ограничениями на импорт и экспорт. В свете последних событий страны в модели можно разделить на три группы:

1. Инициаторы экономической войны, которые ввели наибольшее количество санкций: США и Евросоюз (на *рисунке 2* слева).

2. Подсанкционные страны с крупной экономикой: в первую очередь, Россия, против которой действует наибольшее количество ограничений, а также Китай, экономические санкции против которого ввели США с 2018 года (на *рисунке 2* справа).

3. Остальной мир, который считается условно-нейтральной укрупненной страной в модели, хотя в него входят как страны, которые также ввели санкции против России, так и страны, не поддерживавшие введение ограничений, а также страны, находящиеся под санкциями западных стран.

Программная структура агент-ориентированной модели торговых войн включает алгоритмы формирования населения и организаций, динамики экономической среды и реализации санкционных ограничений. В первой группе алгоритмов происходит создание первоначального поколения агентов-жителей, организаций (с определением объемов выпуска, поставок, основных средств) и рабочих мест, на которых закрепляются агенты-жители. Данные вопросы подробно рассмотрены в [27, 28]. Вторая группа алгоритмов включает реализацию следующих процессов:

- ◆ производство: закупка сырья, производственная задержка, оптовая продажа продукции;
- ◆ потребление: получение заработной платы и приобретение конечной продукции;
- ◆ функции государственного управления: выплата пособий населению, финансирование организаций государственного сектора и инвестиции в национальную экономику через организации сельского хозяйства, добывающей и обрабатывающей промышленности;
- ◆ изменение системы поставок в результате введения санкционных ограничений;
- ◆ расчет и планирование необходимых инвестиций.

Таблица 1.

Структура бюджета в модели

Доходы	Расходы
Налоги на зарплату	Финансирование государственного сектора
Налоги на внутреннее производство	
Налоги на экспорт	Субсидии на развитие национальной экономики
Налоги на импорт	
Государственный займ	Обслуживание государственного займа
Прочие поступления	Прочие расходы

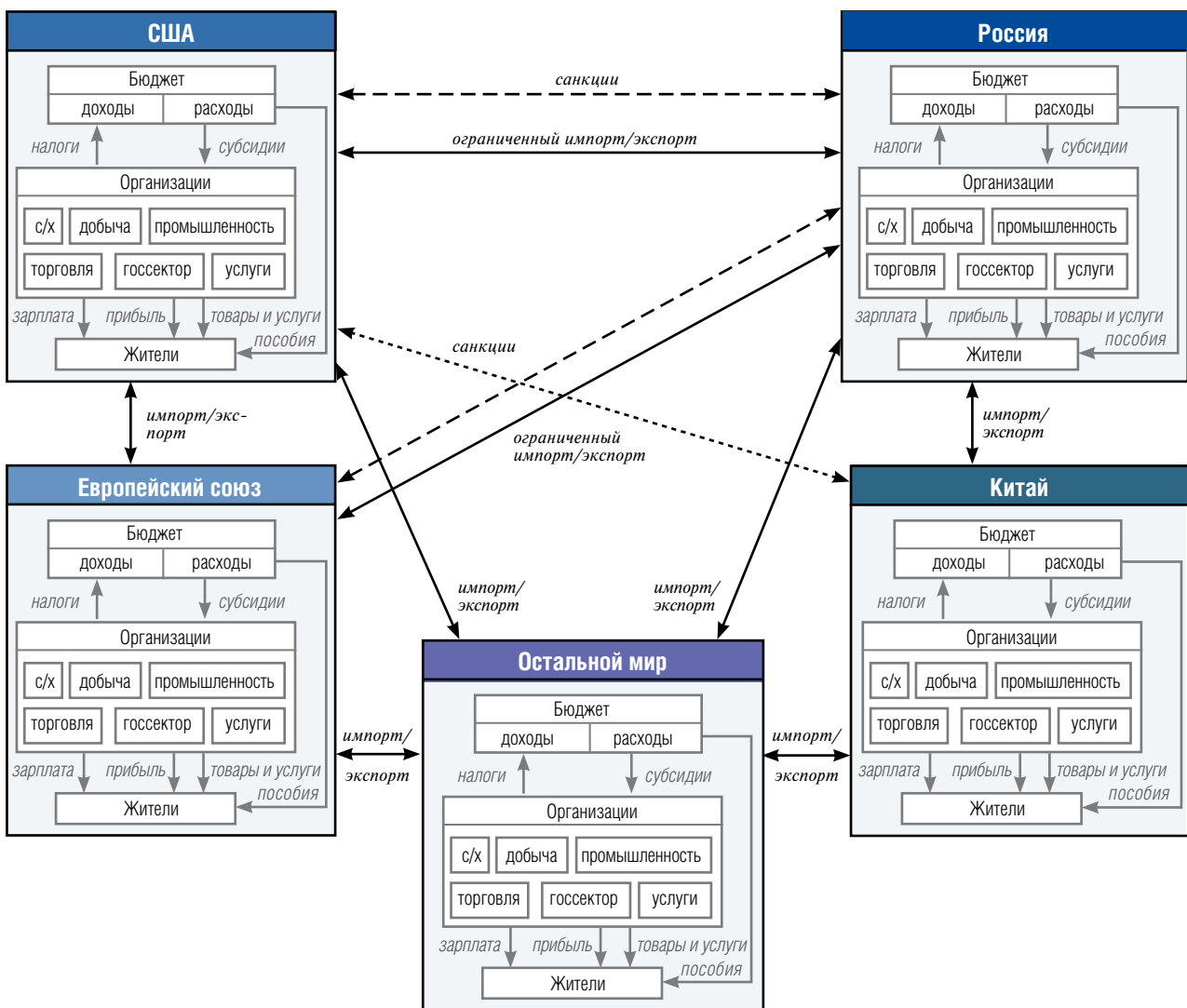


Рис. 2. Концептуальная структура агент-ориентированной модели торговых войн.

Реализация событий в сфере производства и потребления продукции в модели торговых войн рассматриваются в работе [12]; функции бюджетной системы представлены в [29].

Торговые ограничения в модели рассматриваются с двух сторон: ограничения на импорт определенных видов продукции из ряда стран и ограничения на экспорт в другие страны. Каждое ограничение задается следующим набором данных:

$$TR = \langle S_1, S_2, t, i, r, y \rangle,$$

где S_1 – страна в модели;

S_2 – страна – торговый партнер S_1 ;

t – тип торгового отношения, подвергающийся ограничениям (импорт или экспорт);

i – отрасль, продукция которой подвергается ограничениям;

r – величина торгового ограничения в долях относительно объема торговых отношений в предшествующем периоде;

y – модельный год, в который было введено торговое ограничение.

Для корректировки существующей структуры торговых отношений в условиях введения новых санкций производится оценка доступности импортных поставок для организаций-покупателей из каждой страны и организаций-поставщиков из стран – торговых партнеров. Если в рассматриваемой паре стран и отрасли введены новые огра-

ничения, то объем поставки уменьшается, а разница заносится в массив недостающих поставок по отрасли поставщика. После рассмотрения всех стран поставщиков сформированный массив недостающих поставок распределяется между отечественными поставщиками и поставщиками из стран, которые не вводили торговых ограничений. Более подробно алгоритм реализации торговых ограничений представлен в [12]. Реализация данного алгоритма приводит к изменению продаж и выпуска организаций из стран, вовлеченных в торговую войну, и увеличению торгового потока с дружественными и нейтральными странами.

3. Моделирование динамики инвестиций

Планирование необходимых инвестиций организаций складывается из регулярных затрат на поддержание фонда основных средств (ОС) и затрат на увеличение производственных мощностей в соответствии с ожидаемой динамикой выпуска продукции (рис. 3). Затраты на поддержание фонда основных средств предполагаются равными амортизационным отчислениям IA , известным из статистики по странам и отраслям. Для оценки затрат на увеличение производственных мощностей используются данные о стоимости основных средств организации отрасли i в стране j E_i^j . В результате работы описанных выше алгоритмов корректировки объемов продаж для каждой организации известен коэффициент роста выпуска KV_i^j . Объем инвестиций для расширения производства рассчитывается как:

$$IP(t+1)_i^j = E_i^j \cdot KV_i^j,$$

где $IP(t+1)_i^j$ – инвестиции в расширение производства в периоде $(t+1)$.

Коэффициент роста инвестиций организации в следующем периоде рассчитывается относительно инвестиций текущего периода t :

$$KI(t+1)_i^j = \frac{IP(t+1)_i^j + IA(t+1)_i^j}{IP(t)_i^j + IA(t)_i^j},$$

где $KI(t+1)_i^j$ – коэффициент роста инвестиций организации отрасли i в стране j в периоде t ;

$IA(t)_i^j, IA(t+1)_i^j$ – амортизационные отчисления в периодах t и $(t+1)$;

$IP(t)_i^j$ – инвестиции в расширение производства в периоде t .

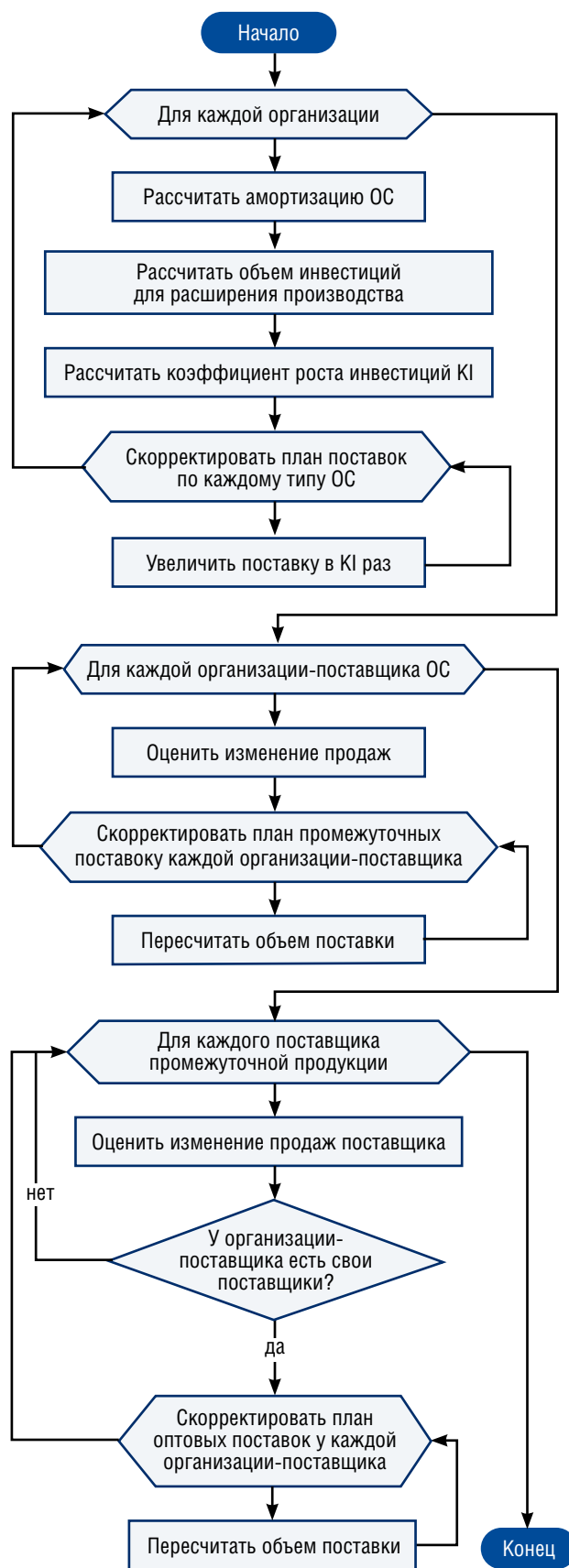


Рис. 3. Алгоритм расчета инвестиций.

В соответствии с рассчитанным коэффициентом $KI(t+1)_i^j$ корректируется план инвестиционных поставок организаций, затем происходит последовательная обработка организаций-поставщиков, в рамках которой корректируются значения их продаж и оборотных поставок. Порядок проверки организаций-поставщиков определяется их отраслевой принадлежностью: сначала организации, производящие конечную продукцию (легкая промышленность), затем промежуточную (производство топлива, материалов и химических продуктов), и в конце – сырье (сельское хозяйство и добывающая промышленность).

Для выхода алгоритма из рекурсии пересчета взаимных поставок в модель вводится допущение, разделяющее оборотные (зависящие от объема выпуска) и внеоборотные промежуточные поставки по отраслям поставщиков и покупателей. Поставки разделяются таким образом, чтобы в терминальных отраслях алгоритма (сельском хозяйстве и добывающей промышленности) все промежуточные поставки были внеоборотными. Это допущение позволяет избежать закливания алгоритма, поскольку последними обрабатываются организации отраслей, которые не нуждаются в корректировке оборотных поставок сырья из других отраслей при изменении выпуска.

4. Исходные данные

Информационное наполнение агент-ориентированной модели торговых войн осуществляется на основе данных официальных статистических ведомств: Всероссийской службы государственной статистики [30], Бюро экономического анализа США [31], Национального бюро статистики КНР [32] и Евростата [33], а также Всемирного банка [34]. Во всех представленных источниках доступны выборки по ключевым параметрам и их выгрузка в формате документов Excel, за исключением Национального бюро статистики КНР, которое публикует статистические ежегодники в виде картинок соответствующих страниц.

Наибольшую сложность на этапе информационного наполнения модели представляет сбор и унификация данных о хозяйственных взаимосвязях организаций в разных странах, в том числе межотраслевых поставках, импорте и экспорте различных видов продукции. Незаменимым источником таких данных являются таблицы «затраты-выпуск», которые публикуются для каждой из стран,

представленных в модели (Россия, Китай, США), а также стран Европейского союза, рассматриваемых как единое целое. В использовании официальных таблиц «затраты выпуск» для формирования таблиц исходных данных моделирования существуют две трудности. Во-первых, отраслевые классификаторы, применяемые для формирования таблиц межотраслевого баланса, отличаются в различных странах, и потому невозможно прямое сопоставление отраслей и продуктов. При достаточно большом сходстве классификаторов Евросоюза (63 отрасли) и России (60 отраслей), значительные отличия от них имеют США (71 отрасль) и Китай (17 отраслей). Для решения этой проблемы в модели создаются 11 укрупненных отраслей, каждая из которых соответствует одной или нескольким отраслям из межотраслевых балансов стран (табл. 2). Также отрасли модели сопоставляются со стандартной международной торговой классификации (СИТС) для агрегирования данных об импорте и экспорте стран.

Во-вторых, отличаются временные периоды, за которые представлены таблицы межотраслевого баланса: для всех стран доступны данные за 2019 год, за исключением Китая, для которого последние таблицы «затраты-выпуск» относятся к 2017 году. Чтобы обеспечить использование наиболее актуальной информации по всем странам, данные о выпуске и поставках отраслей актуализируются до 2019 года с использованием коэффициентов роста ВВП Китая, представленных на сайте Всемирного банка [34]:

$$a_{kl} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m a_{ij} \cdot \frac{va_i^{2019}}{va_i^{2017}},$$

где k – укрупненная отрасль в модели, включающая ряд отраслей экономики $i = \overline{1, n}$;

l – укрупненная отрасль в модели, включающая ряд отраслей экономики $j = \overline{1, m}$;

a_{kl} – поставки организации укрупненной отрасли k у организации укрупненной отрасли l ;

a_{ij} – поставки отрасли i у организации отрасли j по данным межотраслевого баланса;

va_i^{2019} и va_i^{2017} – добавленная стоимость отрасли i в 2019 и 2017 году соответственно.

ВВП остального мира рассчитывается на основе данных Всемирного банка как разница между глобальным ВВП (87 трлн долларов) и ВВП стран, рассматриваемых в модели (52,3 трлн долларов).

Таблица 2.

**Добавленная стоимость укрупненных отраслей в различных странах,
в единицах национальной валюты**

Отрасль в модели	Страна				
	РФ, млрд руб.	США, млрд долл.	ЕС, млрд евро	Китай, млрд юаней	Остальной мир, млрд долл.
Сельское хозяйство, производство продуктов питания	5865,7	441,3	511,8	10755,6	4015,6
Добыча полезных ископаемых	12622,5	293,3	42,2	3194,1	1192,5
Производство топлива	2545	157,4	60,6	2486,1	928,2
Государственный сектор	13827,5	4522,7	1384,8	8947,6	3340,6
Химическое производство	2080,6	534	433,2	4586,8	1712,5
Производство материалов	3993,9	383,8	393,1	3831,9	1430,6
Производство оборудования и транспорта	3166,9	860,4	874,9	7558,7	2822
Легкая промышленность	432,9	136,8	168	3983,9	1487,4
Услуги	35350,8	10503,9	8275,7	27388,2	10225,3
Торговля	12737,8	1934,9	1642,4	13941,8	5205,1
Строительство	5340,6	890,6	852,1	6241,6	2330,3
Итого в национальной валюте	97964,2	20659,1	14638,8	92916,3	34690,1
Итого в млрд долл. США	1687	20659,1	15689	14280	34690,1

Расчитано автором на основе данных ФСГС, Бюро экономического анализа США, Евростата, Национального бюро статистики КНР и Всемирного банка.

Отраслевую структуру экономики остального мира считаем аналогичной китайской, которая является самой крупной среди развивающихся стран. Результаты проведенных расчетов представлены в *таблице 1*. Информация об имеющихся у организаций основных средствах, их амортизации и вводе в эксплуатацию новых также приводится к виду укрупненных отраслей модели (*табл. 3*).

5. Сценарии

До 2020 года при построении прогнозов развития экономики России в качестве основных сценарных параметров учитывалась цена на нефть «Юралс», курс рубля к доллару США, инфляция, динамика ВВП, экспорт и импорт товаров [35]; при этом традиционными факторами риска считались снижение цены на энергоносители и снижение курса рубля отношению к доллару США.

Серьезные корректировки в формирование прогнозных сценариев внесла пандемия коронавируса, в связи с которой возникли такие трудности как замедление мировой экономики; снижение спроса на сырье, товары и услуги; падение в торговле, туризме, сфере общественного питания. Сохранение и введение эпидемиологических ограничений стало новым фактором риска в мировой экономике, влияющим на объем и структуру конечного спроса и, как следствие, на выпуск и занятость в ряде отраслей. В этом контексте были разработаны два сценария: оптимистический, предполагающий стабилизацию эпидемиологической обстановки, и пессимистический, при котором регулярно повторяются всплески заболеваемости, обуславливающие введение новых ограничений [12]. В настоящий момент более вероятным представляется консервативный эпидемиологический сценарий, в рамках которого повторение волн коронавирусной инфекции не приводит

Таблица 3.

Информация об основных средствах организаций в России

Отрасль в модели	Стоимость ОС, млрд руб.	Ввод ОС, млрд руб.	Амортизация ОС, млрд руб.
Сельское хозяйство, производство продуктов питания	9948,1	1045,2	408,8
Добыча полезных ископаемых	29774,9	3085,4	1115,1
Производство топлива	3532,9	340,7	237,3
Государственный сектор	23560,3	1348,3	2847,9
Химическое производство	3460,8	333,7	255
Производство материалов	6388,7	616,1	420,7
Производство оборудования и транспорта	5289,8	510,1	482,9
Легкая промышленность	744	71,8	70,1
Услуги	258369,6	14136,8	6005,5
Торговля	5567,8	560,9	2288,7
Строительство	3094,1	459,9	138,2
Итого:	349731	22508,9	14270,2

Рассчитано автором на основе данных ФСГС.

к дальнейшему замедлению мировой экономики, а вводимые эпидемиологические ограничения затрагивают лишь отдельные регионы.

После начала военной спецоперации России на Украине формирование прогнозных сценариев мировой экономики стало еще более сложной задачей. Со стороны США и Евросоюза вводятся беспрецедентные санкции, последствия которых затрагивают не только Россию, а весь мир. Наблюдаемые в последние месяцы явления показывают необходимость не только рассматривать новые факторы риска для российской и мировой экономики, но также их новые комбинации, в частности, курс рубля показал устойчивость, которая не наблюдалась ранее в кризисные периоды. При этом одним из значимых факторов риска остается инфляция, которая возникла на фоне колебаний курса рубля, однако после его стабилизации цены не вернулись к первоначальному уровню уже в силу давления со стороны предложения: разрыв между народными цепочек поставок и ожидаемый дефицит различных товаров и комплектующих.

Из перечисленных условий в рамках расчетов на агент-ориентированной модели торговых войн в качестве сценарных параметров учитывается курс рубля к доллару США, динамика цен на энергоносители и ожидаемая инфляция. В контексте политической ситуации предлагается три сценария:

1. Ужесточение санкций США и Евросоюза вплоть до ограничения их торгового обмена с Россией на 70–90%.
2. Сохранение санкций со снижением торгового обмена с недружественными странами на 40–60%.
3. Частичное смягчение санкций до 20–30% от объема импорта-экспорта.

Предлагаемые значения сценарных параметров представлены в *таблице 4*. Мировые цены на энергоносители находятся в прямой корреляции с вводимыми санкциями, поскольку растут на фоне дефицита и удорожания логистики, при этом в случае ужесточения санкций снижается цена, по которой Россия может их продавать, что обусловлено ограничением числа возможных покупателей. Несмотря на то, что меры, предприни-

маемые Банком России для стабилизации курса рубля, показали свою эффективность, для проведения расчетов в условиях сохранения и ужесточения санкций принимается прогнозный курс 75 и 90 рублей за доллар соответственно. Если курс рубля покажет свою стабильность в долгосрочной перспективе, то сценарии сохранения и ужесточения санкций потребуют корректировки этого параметра.

Ограничение торгового обмена между странами задается в виде ограничений на импорт и экспорт в процентах от их объема в предшествующем году (в *таблице 4* – в процентах от значений 2021 года). Динамика ВВП стран и объемы международной торговли рассчитываются по результатам выходных данных моделирования.

6. Результаты и обсуждение

Агент-ориентированная модель торговых войн была программно реализована на языке C# Microsoft Visual Studio на основе разработанных алгоритмов. Выбор программного средства обусловлен необходимостью работы с большим объемом данных и связанной с этим оптимизацией процедур и функций, что затруднительно в стандартных средах моделирования. Масштабирование модели было заложено на уровне 1:10000, таким образом всего было создано порядка 800000 агентов-жителей в пяти странах (Россия, США, Китай) и их объединениях (ЕС и укрупненный остальной мир). Информационное обеспечение модели формируется в виде базы данных на основе исходных данных, загружаемых в формате Excel (порядок преобразования статистических данных различных стран к общему формату рассмотрен в соответствующем разделе). Управление базой данных модели торговых войн осуществляется с помощью

СУБД PostgreSQL. Сценарные параметры также загружаются из таблицы, при этом переустанавливаются соответствующие параметры моделирования (инфляция, торговые ограничения между странами, курсы валют).

Целью проведения расчетов на разработанной модели является не столько построение прогнозов динамики экономики России, что является крайне сложной задачей в текущих условиях, сколько анализ сценарных отклонений при различном возможном сочетании внешних факторов и управляющих воздействий. Первая серия экспериментов состояла из трех расчетов, направленных на моделирование структурных изменений в торговых отношениях между странами и возрастающей потребности российской экономики в инвестициях в импортозамещающие проекты. Согласно заложенным сценарным параметрам, торговый оборот между Россией и западными странами (США и ЕС) в годовом исчислении снижается на 30%, 50% и 80% при смягчении, сохранении и ужесточении санкций соответственно, что частично компенсируется в денежном выражении за счет повышения цен. На основе выходных данных первой серии экспериментов проводится оценка объема инвестиций, требуемых для увеличения выпуска в пострадавших от санкций отраслях, причем в расчет принимается стоимость ввода в эксплуатацию новых импортозамещающих производств и исключаются затраты на поддержание фонда основных средств организаций (амортизационные отчисления) и ежегодные бюджетные затраты на национальную экономику. Полученные оценки для различных сценариев представлены в *таблице 5*.

Во второй серии расчетов проводилась оценка влияния объемов инвестирования на экономическую ситуацию в России. Для этого в рамках каждого сценария было рассмотрено шесть вариантов

Таблица 4.

Сценарные параметры

Сценарный параметр	Сценарий		
	Ужесточение санкций	Сохранение санкций	Смягчение санкций
Динамика мировых цен на энергоносители, %	-20	15	20
Курс рубля к доллару США	90	75	60
Ограничение торгового обмена России с недружественными странами, %	80	50	30

Таблица 5.

**Потребность экономики России в дополнительных инвестициях
в 2022 году, млрд. руб.**

Параметр	Сценарий 1	Сценарий 2	Сценарий 3
Объем дополнительных инвестиций	183	300	453

инвестиционной политики, где вариант №1 предполагает отсутствие дополнительных инвестиций для реализации программ импортозамещения, а вариант №6 – инвестирование всей необходимой расчетной суммы, представленной в *таблице 5*. Промежуточные варианты отражают варианты частичного дополнительного инвестирования: 20, 40, 60 и 80 процентов от необходимой расчетной суммы в каждом сценарии.

Представленные на *рисунке 4* графики отражают результаты проведенных 18 экспериментов, в качестве выходных данных которых рассматривался прогноз динамики ВВП России в текущем году относительно значений базового 2021 года. Анализ результатов второй серии экспериментов показывает, что влияние инвестиций на динамику ВВП тем сильнее, чем жестче вводимые санкционные ограничения со стороны западных стран.

Критически важное значение увеличение инвестиций приобретает в условиях сценария №3 (ужесточение санкций), в котором реализация полного спектра импортозамещающих программ позволяет сократить снижение ВВП с 12% до 10%. В условиях сценария №1 (смягчение санкций) экономика РФ показывает слабую зависимость от реализации инвестиционных проектов (менее 1% ВВП).

Для проведения третьей серии экспериментов в рамках каждого сценария были выбраны два варианта инвестиционной политики: вариант №2 (инвестирование 20% от необходимой расчетной суммы) и вариант №5 (инвестирование 80% от необходимой расчетной суммы) и проведено моделирование торговых отношений до 2025 года. В качестве выходного параметра моделирования также была выбрана динамика ВВП России, причем на графиках она представлена нарастающим итогом относительно значений базового года, что позволяет оценить скорость восстановления экономики к докризисным значениям.

На *рисунке 5* представлен прогноз прироста ВВП в условиях смягчения международных санкций.

После падения в текущем году экономика РФ показывает умеренный рост, и в трехлетнем периоде почти возвращается к докризисным значениям, при этом изменение объемов программы импортозамещения не вносит существенного вклада в этот процесс (разница составляет 0,6% ВВП за 3 года).

Согласно проведенным расчетам в условиях сохранения санкций экономика России не восстанавливается к докризисным значениям в

Динамика ВВП в текущем году,
% относительно базового года

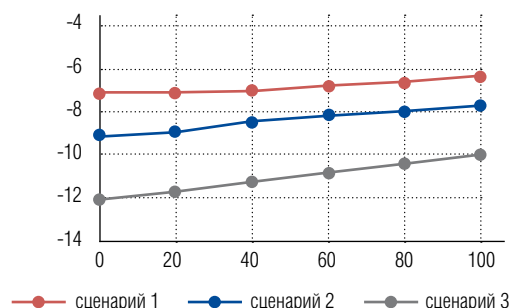


Рис. 4. Прогноз динамики ВВП России в условиях различных долей дополнительного инвестирования от требуемых расчетных значений.

Прирост ВВП нарастающим итогом,
% относительно базового года

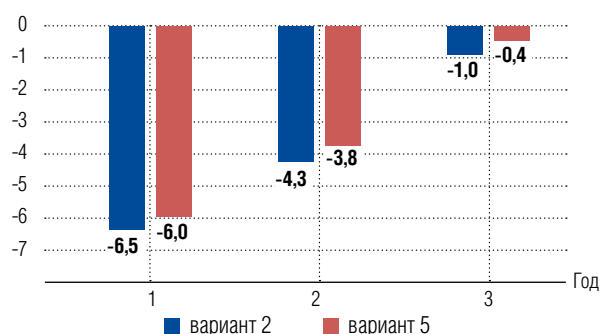


Рис. 5. Прогноз динамики ВВП России в условиях смягчения санкций (сценарий №1).

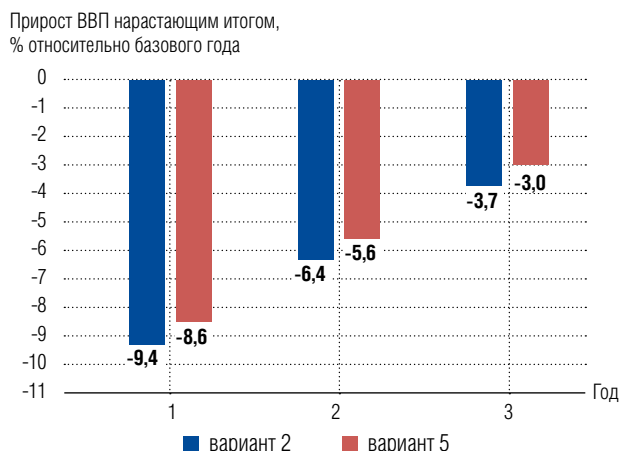


Рис. 6. Прогноз динамики ВВП России в условиях сохранения санкций (сценарий №2).

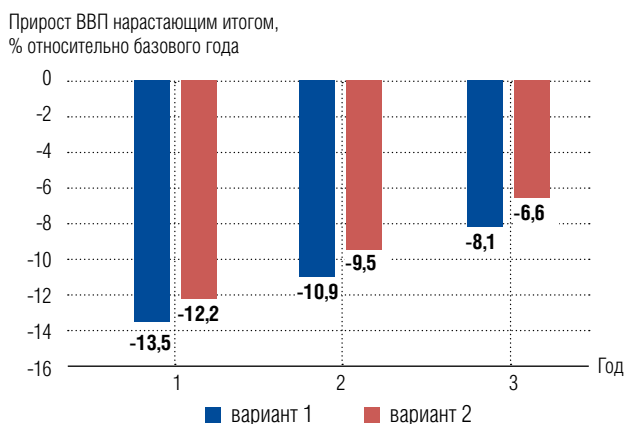


Рис. 7. Прогноз динамики ВВП России в условиях ужесточения санкций (сценарий №3).

трехлетнем периоде, при этом вклад программ импортозамещения в динамику ВВП также не слишком значительный: итоговый прирост за 3 года на 0,7% больше при инвестировании 80% от необходимого расчетного значения по сравнению с инвестированием 20% от него (рис. 6).

Восстановление экономики в условиях ужесточения санкций еще более замедляется, однако влияние объемов инвестирования возрастает: в трехлетнем периоде реализация программ импортозамещения на 80% от необходимого расчетного значения позволяет ослабить общее снижение до 6,6%, что на 1,5% превышает прирост ВВП относительно ожидаемых значений при реализации 20% программы инвестирования (рис. 7).

Таким образом, проведенные серии расчетов показывают, что влияние инвестиций на экономику, оцениваемое через прогноз динамики ВВП, является наиболее сильным при сохранении и ужесточении санкций со стороны западных стран. В этих условиях реализация программ импортозамещения в промышленности позволяют ускорить восстановление экономики и ускорить темпы ее роста после преодоления кризиса в среднем на 0,5% в год по сравнению с вариантом прогноза, где инвестиционные программы реализуются в меньших масштабах.

Полученные результаты основаны на ряде допущений, заложенных в агент-ориентированную модель торговых войн на этапе ее разработки. Во-первых, это допущение о полной замещаемости продуктов одной отрасли, благодаря которому попавшие под санкции товары и комплектующие можно заменить отечественными аналогами или поставками из нейтральных и дружественных стран. Во-вторых, не принимаются в расчет логистические проблемы и задержки, возникающие при смене поставщиков, особенно серьезные в силу географической удаленности дружественных азиатских и недружественных европейских стран; в силу этого допущения не учитываются простои на производстве при ожидании материалов и комплектующих. В-третьих, принимается допущение, что в мире имеются страны, не присоединившиеся к санкциям против России, желающие и способные поставлять требуемые виды продукции, что в условиях наиболее негативного внешнеполитического сценария может оказаться невыполнимым. Также в силу большого количества неопределенностей временной горизонт проведенных расчетов был ограничен тремя годами, хотя для всесторонней оценки эффекта от реализации масштабных инвестиционных проектов он должен быть расширен как минимум до 10 лет.

Заключение

В данной работе представлена компьютерная модель торговых войн, включающая в качестве ключевых участников мировой торговли Россию, США, Китай, Европейский союз и объединенный остальной мир. Модель основана на агент-ориентированном подходе и отражает взаимодействия трех видов агентов: стран, вводящих и снимающих торговые ограниче-

ния, организаций, осуществляющие закупки и производство продукции как для внутреннего рынка, так и на экспорт, и жителей, проживающих в странах, работающих в организациях и потребляющих их продукцию. Массивы исходных данных моделирования формировались на основе информации официальных статистических ведомств России, Китая, США, Евросоюза и Всемирного банка. Все загруженные в модель данные, в том числе о межотраслевых поставках, выпуске, импорте и экспорте различных видов продукции, были приведены к унифицированному виду. Для построения прогнозов было сформировано три сценария внешнеэкономической ситуации: смягчение введенных санкций, их сохранение и дальнейшее ужесточение, при этом в качестве сценарных параметров устанавливается инфляция, курсы мировых валют и доля торгового оборота между странами, попадающая под вводимые ограничения.

В качестве цели компьютерных экспериментов на модели торговых войн в данной работе была выбрана оценка потребности экономики России в дополнительных инвестициях в различные отрасли для масштабного импортозамещения продукции, поставляющейся их недружественных стран. Для решения этой задачи были проведены три серии расчетов. Первая серия из трех экспериментов была направлена на моделирование структурных изменений в торговых отношениях между странами в текущем году в условиях разработанных сценариев при допущении о неограниченных инвестиционных возможностях государства и организаций. По результатам этой серии была получена оценка объема инвестиций, требуемых для увеличения выпуска в пострадавших от санкций отраслях: 183 млрд. руб. в сценарии снятия санкций; 300 млрд. руб. при сохранении санкций; 453 млрд. руб. при их дальнейшем ужесточении. Во второй серии из 18 экспериментов проводилась оценка влияния объемов инвестирования на динамику ВВП России в текущем году, для этого в рамках

каждого сценария было рассмотрено шесть вариантов инвестиционной политики с различными объемами вложений в импортозамещающие производства. Результаты второй серии показывают, что зависимость ВВП от инвестиций достаточно сильная в условиях ужесточения санкций и сравнительно слабая при их смягчении. Для проведения третьей серии экспериментов из числа рассмотренных вариантов было выбрано по два для каждого сценария, и проведено моделирование на трехлетний период. Результаты третьей серии экспериментов также показывают, что влияние инвестиций на экономику является наиболее сильным при сохранении и ужесточении санкций. В этих условиях реализация программ импортозамещения в промышленности позволяет ускорить восстановление экономики в среднем на 0,5% ВВП в год.

Расчеты на разработанной модели позволяют оценить изменения в торговом обороте между странами в условиях изменяющихся ограничений, влияние этого процесса на производство различных видов продукции, а также взаимосвязь инвестиционной активности и общей экономической ситуации в различных странах. В данной работе были представлены построенные прогнозы для Российской Федерации, однако важным направлением дальнейших исследований является анализ последствий вводимых санкций для инициировавших этот процесс западных стран, а также рассмотрения сценария усиления торгового противостояния США и Китая в условиях потенциально возможного нового военного конфликта. ■

Благодарности

Исследование выполнено при поддержке РНФ в рамках проекта №21-18-00136 «Разработка программно-аналитического комплекса для оценки последствий межстрановых торговых войн с приложением для функционирования в системе распределенных ситуационных центров России».

Литература

1. Aguiar A., Narayanan B., McDougall R. An overview of the GTAP 9 database // Journal of Global Economic Analysis. 2016. Vol. 1(1). P. 181–208. <https://doi.org/10.21642/JGEA.010103AF>
2. van der Mensbrugge D. The Standard GTAP Model in GAMS, Version 7 // Journal of Global Economic Analysis. 2018. Vol. 3(1). P. 1–83. <https://doi.org/10.21642/JGEA.030101AF>

3. Bollen J., Rojas-Romagosa H. Trade wars: Economic impacts of US tariff increases and retaliation: An international perspective. CPB Background Document / CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis. 2018. [Электронный ресурс]: <https://www.cpb.nl/sites/default/files/omnidownload/CPB-Background-Document-November2018-Trade-Wars-update.pdf> (дата обращения: 25.05.2022).
4. McDonald S., Thierfelder K. Globe v2: A SAM based global CGE model using GTAP data [Электронный ресурс]: http://cgemod.org.uk/globev2_2014.pdf (дата обращения: 25.05.2022).
5. Bouët A., Laborde D. US trade wars with emerging countries in the 21st century. Make America and its partners lose again / IFPRI discussion paper. 2017. [Электронный ресурс]: <http://ebrary.ifpri.org/cdm/ref/collection/p15738coll2/id/131368> (дата обращения: 25.05.2022).
6. Li C., He C., Lin C. Economic impacts of the possible China-US trade war // *Emerging Markets Finance and Trade*. 2018. Vol. 54. P. 1557–1577. <https://doi.org/10.1080/1540496X.2018.1446131>
7. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бекларян Г.Л., Акопов А.С., Стрелковский Н.В. Моделирование миграционных и демографических процессов с использованием FLAME GPU // *Бизнес-информатика*. 2022. Т. 16. № 1. С. 7–21. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2022.1.7.21>
8. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бекларян Г.Л., Акопов А.С., Ровенская Е.А., Стрелковский Н.В. Агентное моделирование социально-экономических последствий миграции при государственном регулировании занятости // *Экономика и математические методы*. 2022. Т. 58. № 1. С. 113–130. <https://doi.org/10.31857/S042473880018960-5>
9. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бекларян Г.Л., Акопов А.С. Цифровой завод: методы дискретно-событийного моделирования и оптимизации производственных характеристик // *Бизнес-информатика*. 2021. Т. 15. № 2. С. 7–20. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2021.2.7.20>
10. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Ровенская Е.А., Бекларян Г.Л., Акопов А.С. Агентное моделирование популяционной динамики двух взаимодействующих сообществ: мигрантов и коренных жителей // *Экономика и математические методы*. 2020. Т. 56. № 2. С. 5–19. <https://doi.org/10.31857/S042473880009217-7>
11. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бекларян Г.Л., Акопов А.С., Ровенская Е.А., Стрелковский Н.В. Укрупненная агентно-ориентированная имитационная модель миграционных потоков стран Европейского Союза // *Экономика и математические методы*. 2019. Т. 55. № 1. С. 3–15. <https://doi.org/10.31857/S042473880004044-7>
12. Mashkova A., Bakhtizin A. Assessment of impact of trade wars on production and exports of the Russian Federation using the agent-based model // *Advances in Systems Science and Applications*. 2021. Vol. 21(4). P. 100–114.
13. Власов С.А., Сняжков А.А. Эффективность государственных инвестиций и выводы для денежно-кредитной политики в России // *Вопросы экономики*. 2020. № 9. С. 22–39. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2020-9-22-39>
14. Инвестиционная деятельность в российской экономике: проблемы и направления активизации / Е.Б. Шулёпов, К.А. Задумкин, Н.М. Румянцев, Е.В. Лукин // *Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз*. 2021. Т. 14. № 3. С. 83–98. <https://doi.org/10.15838/esc.2021.3.75.5>
15. Найденова Ю.Н., Леонтьева В.В. Влияние неопределенности экономической политики на инвестиции российских компаний // *Вопросы экономики*. 2020. № 2. С. 141–159. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2020-2-141-159>
16. Драпкин И.М., Лукьянов С.А., Бокова А.А. Влияние прямых иностранных инвестиций на внутренние инвестиции в российской экономике // *Вопросы экономики*. 2020. № 5. С. 69–85. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2020-5-69-85>
17. Сухарев О.С., Ворончихина Е.Н. Структурная динамика экономики: влияние инвестиций в старые и новые технологии // *Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз*. 2020. Т. 13. № 4. С. 74–90. <https://doi.org/10.15838/esc.2020.4.70.4>
18. Tesfatsion L. Agent-based computational economics: A constructive approach to economic theory // *Handbook of Computational Economics*. 2006. Vol. 2. No. 16. P. 831–880. [https://doi.org/10.1016/S1574-0021\(05\)02016-2](https://doi.org/10.1016/S1574-0021(05)02016-2)
19. Lebaron B., Tesfatsion L. Modeling macroeconomies as open-ended dynamic systems of interacting agents // *American Economic Review*. 2008. Vol. 98. No. 2. P. 246–250. <https://doi.org/10.1257/aer.98.2.246>
20. 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). <https://doi.org/10.18564/jasss.3280>
21. Dosi G., Napoletano M., Roventini A., Treibich T. Micro and macro policies in the Keynes+Schumpeter evolutionary models. *Journal of Evolutionary Economics*. 2017. Vol. 27. P. 63–90. <https://doi.org/10.1007/s00191-016-0466-4>

22. Raberto M., Teglio A., Cincotti S. Integrating real and financial markets in an agent-based economic model: An application to monetary policy design // *Computational Economics*. 2008. Vol. 32(1). P. 147–162. <https://doi.org/10.1007/s10614-008-9138-2>
23. Gatti D.D., Gaffeo E., Gallegati M., Palestrini A. The apprentice wizard: Monetary policy, complexity and learning // *New Mathematics and Natural Computation*. 2005. Vol. 1. No. 1. P. 109–128. <https://doi.org/10.1142/S1793005705000068>
24. Alexandre M., Lima G.T. Combining monetary policy and prudential regulation: an agent-based modeling approach // *Journal of Economic Interaction and Coordination*. 2020. Vol. 15. P. 385–411. <https://doi.org/10.1007/s11403-017-0209-0>
25. Popoyan L., Napoletano M., Roventini A. Taming macroeconomic instability: Monetary and macro prudential policy interactions in an agent-based model // *Journal of Economic Behavior & Organization*. 2017. Vol. 134. P. 117–140. <https://doi.org/10.1016/j.jebo.2016.12.017>
26. Dosi G., Pereira M., Roventini A., Virgilito M.E. The effects of labour market reforms upon unemployment and income inequalities: an agent based model / Working Paper Series 2016/27, Laboratory of Economics and Management (LEM), Scuola Superiore Sant'Anna, Pisa, Italy, 2016.
27. Маматов А.В., Машкова А.Л., Новикова Е.В., Савина О.А. Воспроизведение динамики населения регионов России методом агентного моделирования // *Информационные системы и технологии*. 2019. № 2. С. 48–55.
28. Mashkova A.L., Nevolin I.V., Savina O.A., Buralina M.A., Mashkov E.A. Generating social environment for agent-based models of computational economy // Chugunov A., Khodachek I., Misnikov Y., Trutnev D. (eds) *Electronic Governance and Open Society: Challenges in Eurasia (EGOSE 2020)*. Communications in Computer and Information Science. Vol. 1349. Springer, Cham, 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-67238-6_21
29. Mashkova A.L., Novikova E.V., Savina O.A., Mamatov A.V., Mashkov E.A. Simulating budget system in the agent model of the Russian Federation spatial development // Chugunov A., Khodachek I., Misnikov Y., Trutnev D. (eds) *Electronic Governance and Open Society: Challenges in Eurasia (EGOSE 2019)*. Communications in Computer and Information Science. Vol. 1135. Springer, Cham, 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39296-3_2
30. Федеральная служба государственной статистики. [Электронный ресурс] <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 28.05.2022).
31. Бюро экономического анализа США. [Электронный ресурс] <https://www.bea.gov/> (дата обращения 25.05.2022).
32. Национальное бюро статистики КНР. [Электронный ресурс] <http://www.stats.gov.cn/english/> (дата обращения 24.05.2022).
33. Евростат. [Электронный ресурс] <https://ec.europa.eu/eurostat/> (дата обращения 28.05.2022).
34. Всемирный банк. [Электронный ресурс] <https://www.worldbank.org/en/home/> (дата обращения 25.05.2022).
35. Основные параметры сценарных условий прогноза социально-экономического развития Российской Федерации на 2023 год и на плановый период 2024 и 2025 годов / Министерство экономического развития Российской Федерации. [Электронный ресурс] https://www.economy.gov.ru/material/file/c56d9cd0365715292055fe5930854d59/scenarnye_usloviya_2023.pdf (дата обращения 30.05.2022).

Об авторе

Машкова Александра Леонидовна

кандидат технических наук;

доцент кафедры информационных систем и цифровых технологий, Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, 302026, г. Орёл, ул. Комсомольская, 95;

старший научный сотрудник лаборатории компьютерного моделирования социально-экономических процессов, Центральный экономико-математический институт РАН, 117418, г. Москва, Нахимовский пр-т, д. 47;

E-mail: aleks.savina@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1701-5324

Dynamics of investments in Russia under the conditions of sanction restrictions: Forecast based on an agent-based model

Alexandra L. Mashkova

E-mail: aleks.savina@gmail.com

Orel State University named after I.S. Turgenev
Address: 95, Komsomolskaya Str., Orel 302026, Russia

Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences
Address: 47, Nakhimovsky Prospect, Moscow 117418, Russia

Abstract

The situation of a trade war between Russia and Western countries is unprecedented in recent history, both in terms of the scale of the restrictions being introduced and because of their mutually dangerous nature, as a result of which the entire world economic system is experiencing difficulties. An urgent task is to develop an economic policy for Russia that will allow for a quick reorientation to Eastern markets and the use of new growth drivers. Evaluation of the effectiveness of the measures taken should be carried out using modern tools, one of which is agent-based economic models. Since Russia is not considered as a key player in the models of international trade relations developed in a number of countries, in order to assess the sanctions imposed against it, it was necessary to develop a new tool – an agent-based model of trade wars between Russia, the USA, China and the European Union. The purpose of the study presented in this article is to assess the need of the Russian economy for additional investments in various industries for large-scale import substitution of products till now supplied from unfriendly countries. To achieve this, the agent-based model reproduces the sectoral structure of the considered economies of the countries and trade relations among them that existed before the start of the special military operation, compiles scenarios of possible sanctions, and simulates the corresponding changes in international trade relations. As part of the scenario calculations, three series of experiments were carried out. In the first series, for each scenario the expected dynamics of Russia's GDP in 2022 was estimated in the context of organizing import substitution programs in key industries, and the cost of these programs was calculated. In the second series, the dependence of GDP dynamics on the volume of investments was studied. The third series simulated the dynamics of trade relations for the period up to 2025 for two investment policy options in each scenario. The results of the experiments also show that the impact of investments on the economy is stronger, the more severe the sanctions are, and under these conditions, the implementation of investment programs can accelerate economic recovery on average by 0.5% of GDP per year.

Keywords: trade wars, agent-based model, sanctions, scenario calculations, investment

Citation: Mashkova A.L. (2023) Dynamics of investments in Russia under the conditions of sanction restrictions: Forecast based on an agent-based model. *Business Informatics*, vol. 17, no. 1, pp. 18–36. DOI: 10.17323/2587-814X.2023.1.18.36

References

1. Aguiar A., Narayanan B., McDougall R. (2016) An overview of the GTAP 9 database. *Journal of Global Economic Analysis*, vol. 1(1), pp. 181–208. <https://doi.org/10.21642/JGEA.010103AF>
2. van der Mensbrugge D. (2018) The Standard GTAP Model in GAMS, Version 7. *Journal of Global Economic Analysis*, vol. 3(1), pp. 1–83. <https://doi.org/10.21642/JGEA.030101AF>
3. Bollen J., Rojas-Romagosa H. (2018) *Trade wars: Economic impacts of US tariff increases and retaliation: An international perspective*. CPB Background Document. CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis. Available at: <https://www.cpb.nl/sites/default/files/omnidownload/CPB-Background-Document-November2018-Trade-Wars-update.pdf> (accessed 25 May 2022).
4. McDonald S., Thierfelder K. (2014) *Globe v2: A SAM based global CGE model using GTAP data*. Available at: http://cgemod.org.uk/globev2_2014.pdf (accessed 25 May 2022).
5. Bouët A., Laborde D. (2017) *US trade wars with emerging countries in the 21st century. Make America and its partners lose again*. IFPRI discussion paper. Available at: <http://ebrary.ifpri.org/cdm/ref/collection/p15738coll2/id/131368> (accessed 25 May 2022).
6. Li C., He C., Lin C. (2018) Economic impacts of the possible China-US trade war. *Emerging Markets Finance and Trade*, vol. 54, pp. 1557–1577. <https://doi.org/10.1080/1540496X.2018.1446131>
7. Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Beklaryan G.L., Akopov A.S., Strelkovskiy N.V. (2022) Simulation of migration and demographic processes using FLAME GPU. *Business Informatics*, vol. 16, no. 1, pp. 7–21. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2022.1.7.21>
8. Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Beklaryan G.L., Akopov A.S., Rovenskaya E.A., Strelkovskiy N.V. (2022) Agent-based modeling of social and economic impacts of migration under the government regulated employment. *Economics and Mathematical Methods*, vol. 58, no. 1, pp. 113–130 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S042473880018960-5>
9. Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Beklaryan G.L., Akopov A.S. (2021) Digital plant: methods of discrete-event modeling and optimization of production characteristics. *Business Informatics*, vol. 15, no. 2, pp. 7–20. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2021.2.7.20>
10. Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Rovenskaya E.A., Beklaryan G.L., Akopov A.S. (2020) Agent-based modelling of population dynamics of two interacting social communities: migrants and natives. *Economics and Mathematical Methods*, vol. 56, no. 2, pp. 5–19 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S042473880009217-7>
11. Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Beklaryan G.L., Akopov A.S., Rovenskaya Ye.A., Strelkovskiy N.V. (2019) Aggregated Agent-Based Simulation Model of Migration Flows of the European Union Countries. *Economics and Mathematical Methods*, vol. 55, no. 1, pp. 3–15 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S042473880004044-7>
12. Mashkova A., Bakhtizin A. (2021) Assessment of impact of trade wars on production and exports of the Russian Federation using the agent-based model. *Advances in Systems Science and Applications*, vol. 21(4), pp. 100–114.
13. Vlasov S.A., Sinyakov A.A. (2020) Public investment efficiency and monetary policy consequences: The case of investment ratio enhancing policy in Russia. *Voprosy Ekonomiki*, no. 9, pp. 22–39 (in Russian). <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2020-9-22-39>
14. Shulepov E.B., Zadumkin K.A., Rummyantsev N.M., Lukin E.V. (2021) Investment activity in the Russian economy: activation problems and directions. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, vol. 14, no. 3, pp. 83–98. <https://doi.org/10.15838/esc.2021.3.75.5>
15. Naidenova I.N., Leonteva V.V. (2020) Economic policy uncertainty and investment of Russian companies. *Voprosy Ekonomiki*, no. 2, pp. 141–159 (in Russian). <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2020-2-141-159>
16. Drapkin I.M., Lukyanov S.A., Bokova A.A. (2020) Influence of foreign direct investment on domestic investment in the Russian economy. *Voprosy Ekonomiki*, no. 5, pp. 69–85 (in Russian). <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2020-5-69-85>
17. Sukharev O.S., Voronchikhina E.N. (2020) Structural dynamics of the economy: impact of investment in old and new technologies. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, vol. 13, no. 4, pp. 74–90. <https://doi.org/10.15838/esc.2020.4.70.4>
18. Tesfatsion L. (2006) Agent-based computational economics: A constructive approach to economic theory. *Handbook of Computational Economics*, vol. 2, no. 16, pp. 831–880. [https://doi.org/10.1016/S1574-0021\(05\)02016-2](https://doi.org/10.1016/S1574-0021(05)02016-2)
19. Lebaron B., Tesfatsion L. (2008) Modeling macroeconomies as open-ended dynamic systems of interacting agents. *American Economic Review*, vol. 98, pp. 246–250. <https://doi.org/10.1257/aer.98.2.246>
20. Fagiolo G., Roventini A. (2017) Macroeconomic policy in DSGE and agent-based models redux: New developments and challenges ahead. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 20(1), 1. <https://doi.org/10.18564/jasss.3280>
21. Dosi G., Napoletano M., Roventini A., Treibich T. (2017) Micro and macro policies in Keynes+Schumpeter evolutionary models. *Journal of Evolutionary Economics*, vol. 27, pp. 63–90. <https://doi.org/10.1007/s00191-016-0466-4>

22. Raberto M., Teglio A., Cincotti S. (2008) Integrating real and financial markets in an agent-based economic model: An application to monetary policy design. *Computational Economics*, vol. 32(1), pp. 147–162. <https://doi.org/10.1007/s10614-008-9138-2>
23. Gatti D.D., Gaffeo E., Gallegati M., Palestrini A. (2005) The apprentice wizard: Monetary policy, complexity and learning. *New Mathematics and Natural Computation*, vol. 1, pp. 109–128. <https://doi.org/10.1142/S1793005705000068>
24. Alexandre M., Lima G.T. (2020) Combining monetary policy and prudential regulation: an agent-based modeling approach. *Journal of Economic Interaction and Coordination*, vol. 15, pp. 385–411. <https://doi.org/10.1007/s11403-017-0209-0>
25. Popoyan L., Napoletano M., Roventini A. (2017) Taming macroeconomic instability: Monetary and macro prudential policy interactions in an agent-based model. *Journal of Economic Behavior & Organization*, vol. 134, pp. 117–140. <https://doi.org/10.1016/j.jebo.2016.12.017>
26. Dosi G., Pereira M., Roventini A., Virgilito M.E. (2016) The effects of labour market reforms upon unemployment and income inequalities: an agent based model. *Working Paper Series 2016/27, Laboratory of Economics and Management (LEM)*, Scuola Superiore Sant'Anna, Pisa, Italy.
27. Mamatov A.V., Mashkova A.L., Novikova E.V., Savina O.A. (2019) Reproduction of dynamics of population of Russian regions using agent modeling. *Information Systems and Technologies*, no. 2(112), pp. 48–55 (in Russian).
28. Mashkova A.L., Nevolin I.V., Savina O.A., Butilina M.A., Mashkov E.A. (2020) Generating social environment for agent-based models of computational economy. In: Chugunov A., Khodachek I., Misnikov Y., Trutnev D. (eds) *Electronic Governance and Open Society: Challenges in Eurasia (EGOSE 2020)*. *Communications in Computer and Information Science*, vol. 1349. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-67238-6_21
29. Mashkova A.L., Novikova E.V., Savina O.A., Mamatov A.V., Mashkov E.A. (2020) Simulating budget system in the agent model of the Russian Federation spatial development. In: Chugunov A., Khodachek I., Misnikov Y., Trutnev D. (eds) *Electronic Governance and Open Society: Challenges in Eurasia (EGOSE 2019)*. *Communications in Computer and Information Science*, vol. 1135. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39296-3_2
30. *Federal State Statistics Service*. Available at: <https://eng.rosstat.gov.ru/> (accessed 25 May 2022).
31. *Bureau of Economic Analysis*. Available at: <https://www.bea.gov/> (accessed 25 May 2022).
32. *National Bureau of Statistics of China*. Available at: <http://www.stats.gov.cn/english/> (accessed 25 May 2022).
33. *Eurostat*. Available at: <https://ec.europa.eu/eurostat/> (accessed 25 May 2022).
34. *World bank*. Available at: <https://www.worldbank.org/en/home/> (accessed 25 May 2022).
35. *The main parameters of the scenario conditions for the forecast of the socio-economic development of the Russian Federation for 2023 and for the planned period of 2024 and 2025*. Ministry of Economic Development of the Russian Federation. Available at: https://www.economy.gov.ru/material/file/c56d9cd0365715292055fe5930854d59/scenarnye_usloviya_2023.pdf (accessed 25 May 2022) (in Russian).

About the author

Alexandra L. Mashkova

Cand. Sci. (Tech.);

Associate Professor of the Department of Information Systems and Digital Technologies, Orel State University named after I.S.Turgenev, 95, Komsomolskaya Str., Orel 302026, Russia;

Senior Researcher at the Laboratory of Computer Modeling of Socio-Economic Processes, Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences, 47, Nakhimovsky Prospect, Moscow 117418, Russia;

E-mail: aleks.savina@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1701-5324