

DOI: 10.17323/2587-814X.2025.4.7.25

Моделирование работы предприятий в условиях эпидемии на базе агент-ориентированного и ситуационного подходов

А.Л. Машкова 

E-mail: aleks.savina@gmail.com

А.Р. Бахтизин 

E-mail: albert.bakhtizin@gmail.com

Центральный экономико-математический институт РАН, Москва, Россия

Аннотация

В период эпидемии на первый план выходит поиск баланса в предотвращении распространения заболевания и поддержании производства и доходов населения. Несмотря на значительное количество социально-экономических исследований последствий коронакризиса, актуальной задачей остается создание инструментов для анализа альтернативных управленческих стратегий со стороны предприятий и государства, готовых к применению в случае вспышки новых опасных инфекций. Целью данного исследования является моделирование связанных с распространением эпидемии изменений в работе предприятий промышленности, торговли и сферы обслуживания и влияния этих изменений на объемы выпуска продукции и оказания услуг. Представленное исследование основано на сочетании агент-ориентированного и ситуационного моделирования. Агент-ориентированная модель отражает структуру населения, контакты агентов, занятость и получение образования, а также функции государственного управления. Распространение заболевания среди населения воспроизводится на основе автоматной модели. Работа предприятий в условиях распространения эпидемии описывается дискретно-ситуационной сетью, включающей управление производством и персоналом. Разработанные модели и алгоритмы были встроены в искусственное общество в программном комплексе МЕБИУС, которое воспроизводит население и экономику России, а также ее торговые связи с зарубежными странами. Расчеты проводились в рамках базового сценария и пяти сценариев развития эпидемии, отражающих различные сочетания ограничительных мер и финансовых стимулов. Анализ результатов проводился в разрезе отраслевой принадлежности организаций. Наибольшую чувствительность к внешнеэкономическим условиям показали предприятия по

добыче полезных ископаемых. При смягчении ограничений за рубежом выпуск добывающих предприятий снижается на 0,3%, по сравнению со снижением на 2,2% в условиях жестких ограничений. Предприятия обрабатывающих отраслей в условиях эпидемии испытывают меньшее снижение выпуска относительно предшествующего года, однако достаточно заметное относительно базового сценария. В сфере услуг падение составляет 7,6% при жестких ограничениях и 0,1% – при мягких.

Ключевые слова: агент-ориентированная модель, дискретно-ситуационная сеть, программный комплекс, база данных, управление производством, противоэпидемические ограничения

Цитирование: Машкова А.Л., Бахтизин А.Р. Моделирование работы предприятий в условиях эпидемии на базе агент-ориентированного и ситуационного подходов // Бизнес-информатика. 2025. Т. 19. № 4. С. 7–25. DOI: 10.17323/2587-814X.2025.4.7.25

Введение

Исследование эпидемий в науке традиционно относилось к сугубо медицинской сфере вплоть до начавшейся пандемии коронавируса, которая имела несопоставимые с предшествующими в новейшей истории последствия для экономики и общества. После всплеска COVID-19 распространение эпидемий стало предметом анализа экономистов, социологов, политологов и психологов. В частности, внимание отечественных исследователей было сосредоточено на анализе влияния пандемии на кредитно-денежную политику, экономику отраслей и регионов [1, 2].

Однако, поскольку против коронавируса уже разработаны эффективные методы лечения и вакцинации, он перестал быть такой угрозой для общества, как был в 2020 году, и интерес к теме эпидемий в научном сообществе стал постепенно снижаться. В российской науке дополнительным фактором снижения интереса к теме эпидемий стало обострение международной обстановки. При этом также стало забываться, что в любой момент может появиться новая опасная мутация коронавируса (или другого вируса), против которой будут бессильны разработанные вакцины и протоколы лечения, и общество окажется так же мало готовым к распространению эпидемии, как и пять лет назад. Более того, в последнее время в научных публикациях проходила информация о том, что такая новая версия вируса существует, и в результате одной мутации может стать смертоносной для человека [3].

Опыт распространения коронавируса показал, что эпидемии влияют не только на здоровье людей, но также на производство, торговлю и сферу услуг. В частности, руководители предприятий сталкиваются с множественными проблемами, такими как логистические задержки, снижение спроса на продукцию, дефицит рабочей силы (в связи с больничными и карантинами сотрудников), непредвиденные социальные расходы (оплата больничных, вынужденные отпуска и т. д.). Экономические мотивы могут быть причиной несвоевременности и недостаточной жесткости ограничительных мер, позволяющих предотвратить распространение заболевания. Таким образом, в период эпидемии важнейшей задачей становится поиск баланса в предотвращении распространения заболевания, поддержании производства, инфраструктуры, доходов населения и усилении системы здравоохранения.

Для решения этой задачи был выбран метод агент-ориентированного моделирования, который позволяет, с одной стороны, воспроизводить процесс распространения заболевания через контакты здоровых людей с зараженными, с другой – отражать реализацию ограничительных мер, последствия эпидемии для производства, спроса и занятости. Наиболее известной агент-ориентированной моделью распространения эпидемий является модель Эпштейна, которая первоначально была применена для оценки угрозы распространения оспы в 2004 году в небольших городах в результате террористических действий, а впоследствии развита

для моделирования эпидемий в крупных городах и странах [4, 5]. После этого агент-ориентированный подход нашел широкое применение в моделировании эпидемий [6, 7], толчок к созданию новых моделей этого класса как в России, так и за рубежом дала пандемия коронавируса. В отечественных исследованиях основное внимание уделяется самому процессу распространения заболевания [8]. В зарубежных работах исследование эпидемии в первые годы после вспышки COVID-19 было сосредоточено на эффективности ограничительных мер (закрытия школ, университетов, торговых и развлекательных центров) [9–16], в публикациях последних лет рассматривается в разрезе ограничения свободы индивидуумов в период локдаунов [17–19] и личного выбора в вопросах вакцинации [20–22]. Таким образом, актуальной задачей остается комплексное исследование последствий эпидемий для современной экономики и общества, учитывающее, с одной стороны, опыт преодоления коронакризиса, с другой – анализ эффективности альтернативных управленческих стратегий со стороны предприятий и государства.

Целью нашего исследования является разработка методологии и инструментария для оценки последствий эпидемий для предприятий, эконо-

мики и общества при условии реализации различных противоэпидемических мер. В данной работе решается задача моделирования связанных с распространением эпидемии изменений в работе предприятий промышленности, торговли и сферы обслуживания и влияния этих изменений на объемы выпуска продукции и оказания услуг. В рамках проводимого исследования принимаются в расчет государственные противоэпидемические ограничения и меры поддержки, а также внешнеэкономические изменения.

1. Материалы и методы

Представленное исследование основано на сочетании двух основных методов: агент-ориентированного [23, 24] и ситуационного моделирования [25]. Агент-ориентированная модель (АОМ) представляет собой искусственное общество [26], отражающее состав и динамику населения, производство, потребление, образовательную систему и функции государственного управления (рис. 1). Представляемая модель распространения эпидемий является частью разработанного в ЦЭМИ РАН программного комплекса МЕБИУС [27], в котором уже реализованы демографические процессы (рож-

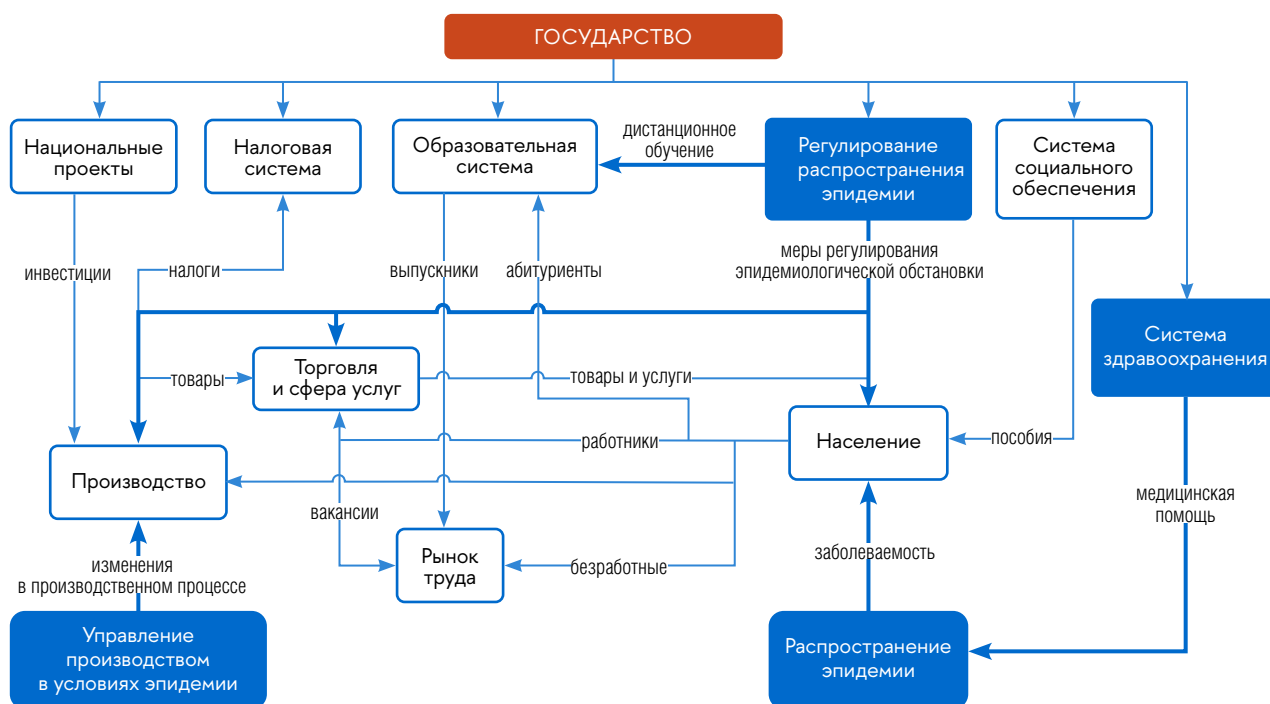


Рис. 1. Структура АОМ работы предприятий в условиях эпидемии.

даемость, смертность, вступление в брак и разводы) [28], базовые функции работы предприятий (поставки, продажи, производство), торговли и сферы услуг, рынка труда, реализация национальных инвестиционных проектов, система социального обеспечения, налоговая и образовательная система [29, 30].

Для отражения процессов распространения эпидемии и оценки ее влияния на экономику и общество в модель были добавлены процедуры передачи и протекания заболевания, меры государства по регулированию эпидемиологической обстановки, детализирована работа системы здравоохранения, а также функции управления работой предприятий в условиях эпидемии, реализованные на базе ситуационного подхода.

В ситуационном подходе центральным элементом является ситуация, представляющая собой совокупность сведений о структуре объекта, его связях с внешним миром и функционировании в текущий момент времени. В данной работе в качестве ситуации рассматривается всплеск эпидемии, а соответствующая модель (дискретно-ситуационная сеть) задает изменения в работе предприятий, связанные с ухудшением эпидемиологической обстановки и мерами ее регулирования со стороны государства. Государственное регулирование включает такие меры как общий карантин, организация дистанционного обучения, запрет деятельности организаций торговли и сферы услуг, рекомендации по организации дистанционной работы сотрудников в различных отраслях.

Динамика эпидемиологической ситуации в модели складывается из изменений состояния здоровья отдельных агентов-жителей в результате течения болезни у зараженных и их контактов с

окружением. Распространение заболевания среди населения воспроизводится на основе автоматной модели (рис. 2), в основе которой лежит классическая модель динамики заболевания SEIR [31]. Основным отличием используемой нами модели от классической версии SEIR является учет стадии заболевания агента, с которым произошел контакт, что позволяет устанавливать разные вероятности заражения при контакте с инфицированным в инкубационном периоде и в активной фазе заболевания. Это различие имеет существенное значение при рассмотрении вариантов мягкой государственной эпидемиологической политики, когда изолируются только больные с подтвержденным заболеванием, а не все контактировавшие с ними жители. Состояния автоматной модели заражения и течения заболевания представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Состояния автоматной модели заражения и течения заболевания

Код состояния	Название состояния
Z1	Здоровый агент, не имеющий иммунитета к заболеванию
Z2	Здоровый агент, имеющий иммунитет к заболеванию
K1	Агент, контактировавший с зараженным в инкубационном периоде
K2	Агент, контактировавший с зараженным в активной фазе
I1	Зараженный в инкубационном периоде
I2	Зараженный в активной фазе
S	Агент, умерший от заболевания

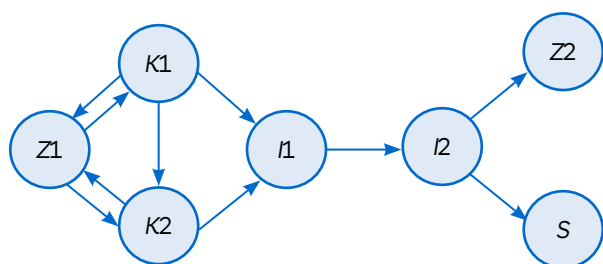


Рис. 2. Автоматная модель заражения и течения заболевания.

Исходным состоянием большинства агентов на момент начала моделирования является состояние здорового человека без иммунитета к новому заболеванию. В состояния K1 и K2 здоровый агент переходит после контакта с зараженных в инкубационном периоде и в активной фазе заболевания соответственно. На рисунке 3 представлен алгоритм контактирования зараженных в инкубационном периоде с окружением.

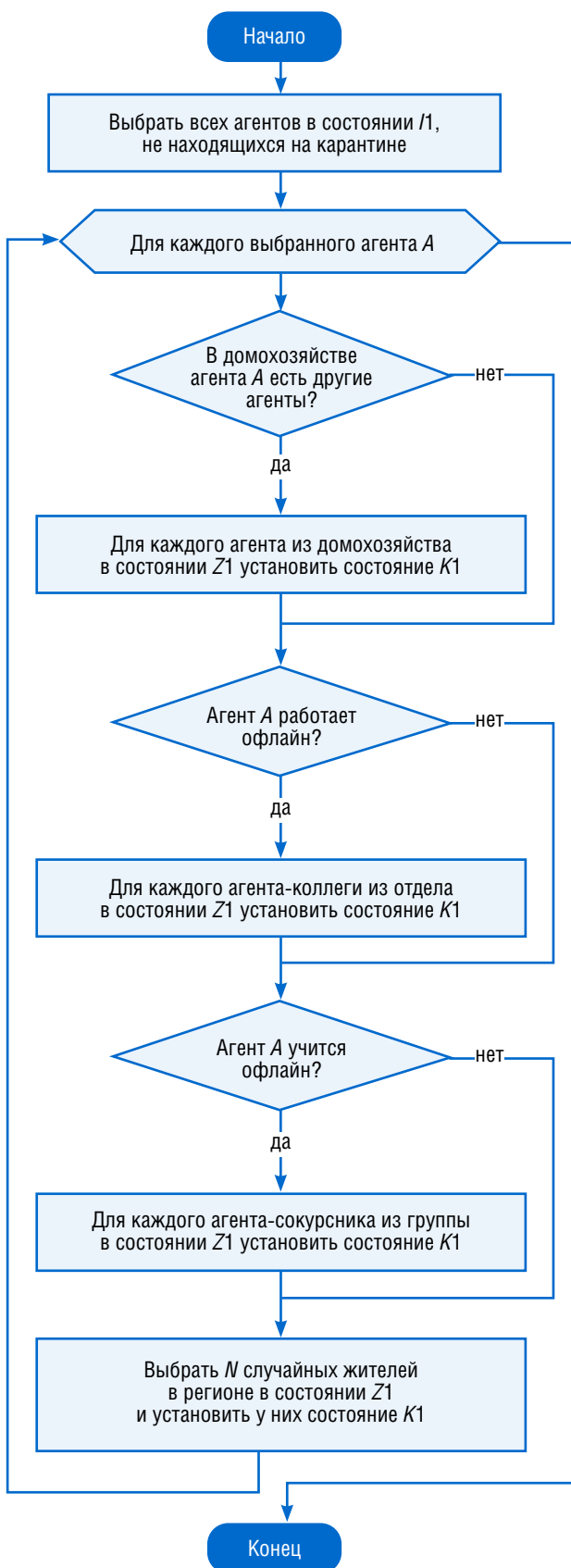


Рис. 3. Алгоритм контактирования заболевших с окружением.

Поскольку в программном комплексе МЕБИУС уже имеется развитая социальная структура общества, большинство контактов агента являются не случайными, а заранее предсказуемыми: это его семья, коллеги и сокурсники. Члены семьи проживают в одном домохозяйстве, и их взаимодействие является наиболее тесным. Коллегами являются агенты, работающие в одном отделе организации, а сокурсниками – обучающиеся в одной группе. Формирование и динамика социальных связей в модели искусственного общества рассмотрены в работах [32]. Случайные контакты также присутствуют, отражая общение с друзьями и взаимодействия в общественных местах.

Алгоритм контактирования зараженных в активной фазе с окружением в общем случае аналогичен представленному выше, вступившие в контакт агенты переходят в состояние $K2$. Однако в большинстве случаев при распространении эпидемии больной в активной фазе помещается на карантин и контактирует только с членами своего домохозяйства.

Далее вступает в работу вероятностная функция, которая генерирует случайное число в диапазоне от 1 до 100. В случае, если сгенерированное число превышает $PZ1$ ($PZ2$) – порог вероятности заражения при контакте с заболевшим в инкубационном периоде (активной фазе), то агент сам становится зараженным в инкубационном периоде, иначе происходит обратный переход в состояние $Z1$ (рис. 4). Пороги вероятности заражения закладываются в модель как сценарные параметры, характеризующие вызывающий эпидемию вирус.

После завершения инкубационного периода, продолжительность которого также задается сценарным параметром, зараженный агент переходит в активную фазу заболевания. Здесь моделируется продолжительность и исход заболевания в зависимости от возраста агента (рис. 5).

Продолжительность заболевания задается вероятностной дискретной функцией, пример которой представлен на рисунке 6. Вероятность смертельного исхода $PS(v)$ задается сценарным параметром для каждой возрастной группы v .

Работа предприятий в условиях распространения эпидемии описывается дискретно-ситуационной сетью (ДСС), представленной на рисунке 7. Входами ДСС являются истоки, а выходами – стоки (таблица 2). Обработка ситуации происходит с

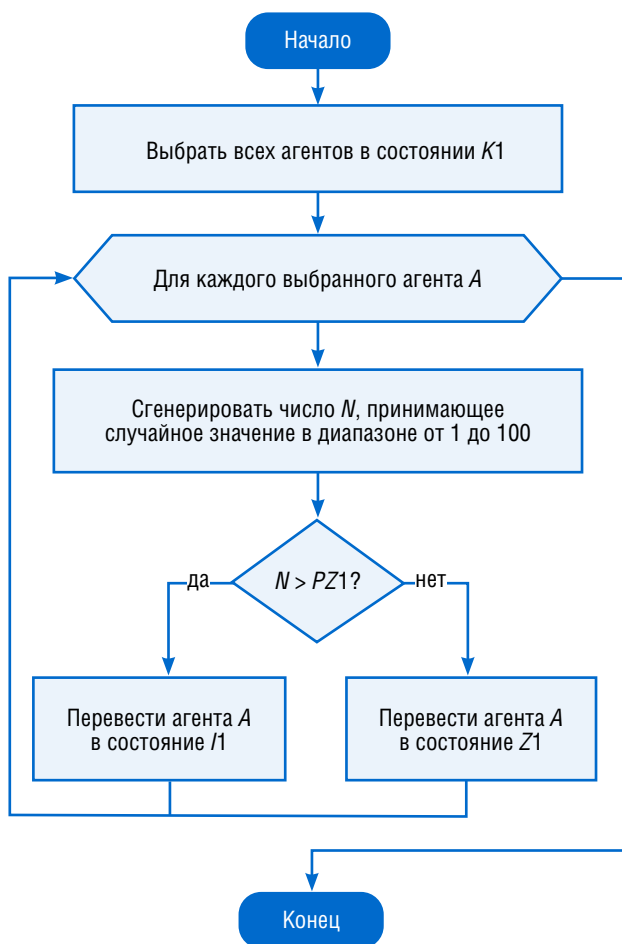


Рис. 4. Вероятностный алгоритм передачи инфекции при контакте с зараженными в инкубационном периоде.

помощью решателей двух видов: активные (АР), в которых принимаются решения, и пассивные (ПР), отражающие возникающие задержки. На рисунке 7 переходы объектов и субъектов между состояниями отражены сплошными стрелками, а потоки информации – пунктирными.

Источники и стоки связывают ДСС работы предприятия со средой агент-ориентированной модели распространения эпидемии. И1 (поставки), И2 (заказы от покупателей), С1 (готовая продукция) и С2 (заказы поставщикам) отражают взаимодействие предприятия с контрагентами; И4 (сотрудники) – с агентами-жителями; С3 (умершие сотрудники) влияет на работу предприятия при массовой эпидемии и недостатке рабочей силы. И2 (меры государственного регулирования распространения эпидемии) влияет как на производство, так и на управление кадрами предприятия.

Пассивные решатели отражают логистические задержки в условиях эпидемии, связанные с карантинными мерами и закрытием границ (ПР1); производственные задержки (ПР2); полный или частичный отрыв сотрудников от производственного процесса по причине карантина или дистанционной работы (ПР3) и больничного (ПР4). Для предприятий ПР1, ПР3, ПР4 представляют неконтролируемые внешние условия, а ПР2 является частью производственного процесса, для которого, помимо получения поставок, необходимо наличие достаточного количества трудоспособного персонала.

Активные решатели реализуют процессы принятия решений по управлению предприятием в условиях эпидемии. В АР1 «Управление производством» поступает информация о заказах (исток И2), задержках поставок (ПР1), мерах государственного регулирования распространения эпидемии (И3), выбывших из производственного процесса сотрудников (АР2), и на ее основе корректируются объемы выпуска и заказов (рис. 8).

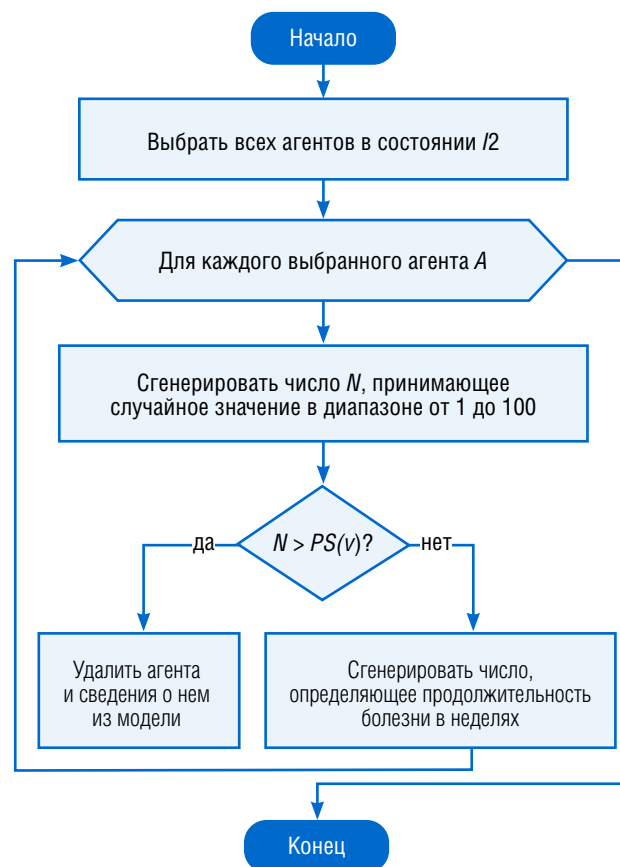


Рис. 5. Алгоритм моделирования продолжительности и исхода болезни.

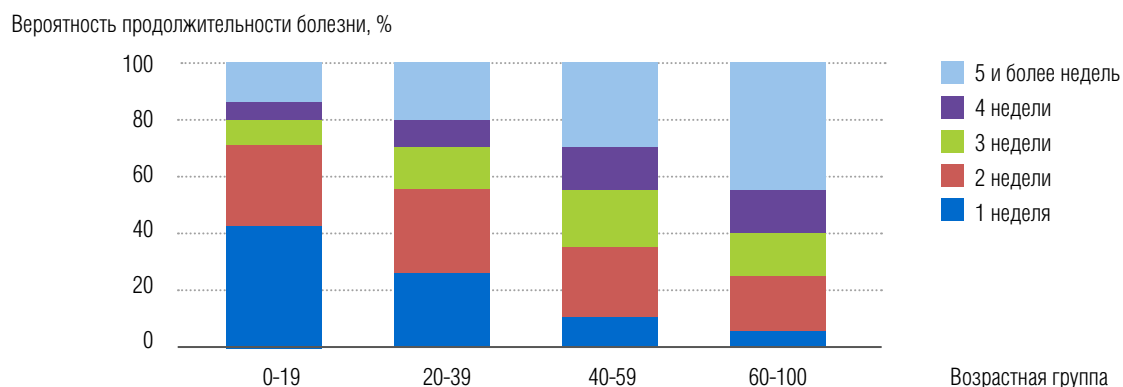


Рис. 6. Вероятностная функция, задающая продолжительность болезни в зависимости от возраста зараженного.

В случаях, когда введены частичные ограничения на работу организаций определенных отраслей, либо им недоступны необходимые поставки, также отдается распоряжение на частичный отпуск персонала. Если же на работу организации наложен запрет, то производство и поставки приостанавливаются, и отдается распоряжение на полный отпуск персонала.

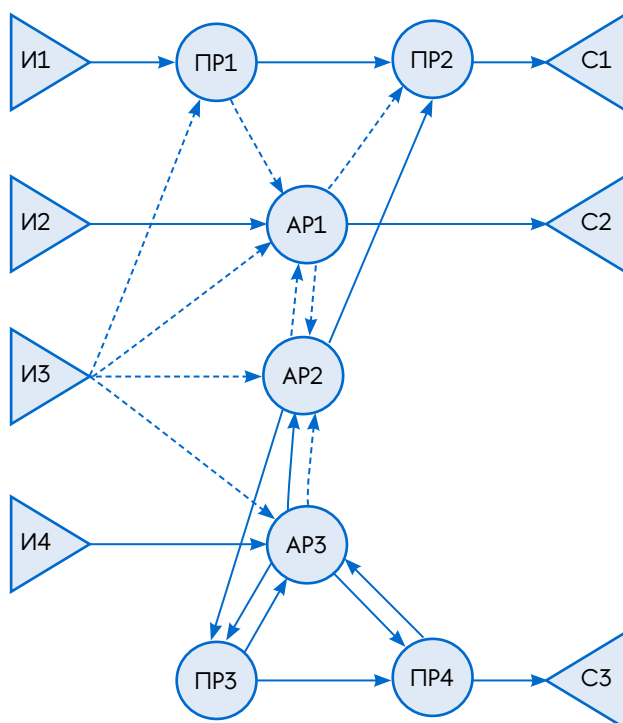


Рис. 7. Дискретно-ситуационная сеть работы предприятий в условиях эпидемии.

Таблица 2.

Элементы ДСС работы предприятий в условиях эпидемии

Код элемента	Название элемента
ИСТОКИ	
И1	Поставки
И2	Заказы от покупателей
И3	Меры государственного регулирования распространения эпидемии
И4	Сотрудники
СТОКИ	
С1	Готовая продукция
С2	Заказы поставщикам
С3	Умершие сотрудники
ПАССИВНЫЕ РЕШАТЕЛИ	
ПР1	Логистическая задержка поставок
ПР2	Производственная задержка
ПР3	Карантин/дистанционная работа сотрудников
ПР4	Больничный
АКТИВНЫЕ РЕШАТЕЛИ	
АР1	Управление производством
АР2	Управление персоналом
АР3	Управление распространением эпидемии

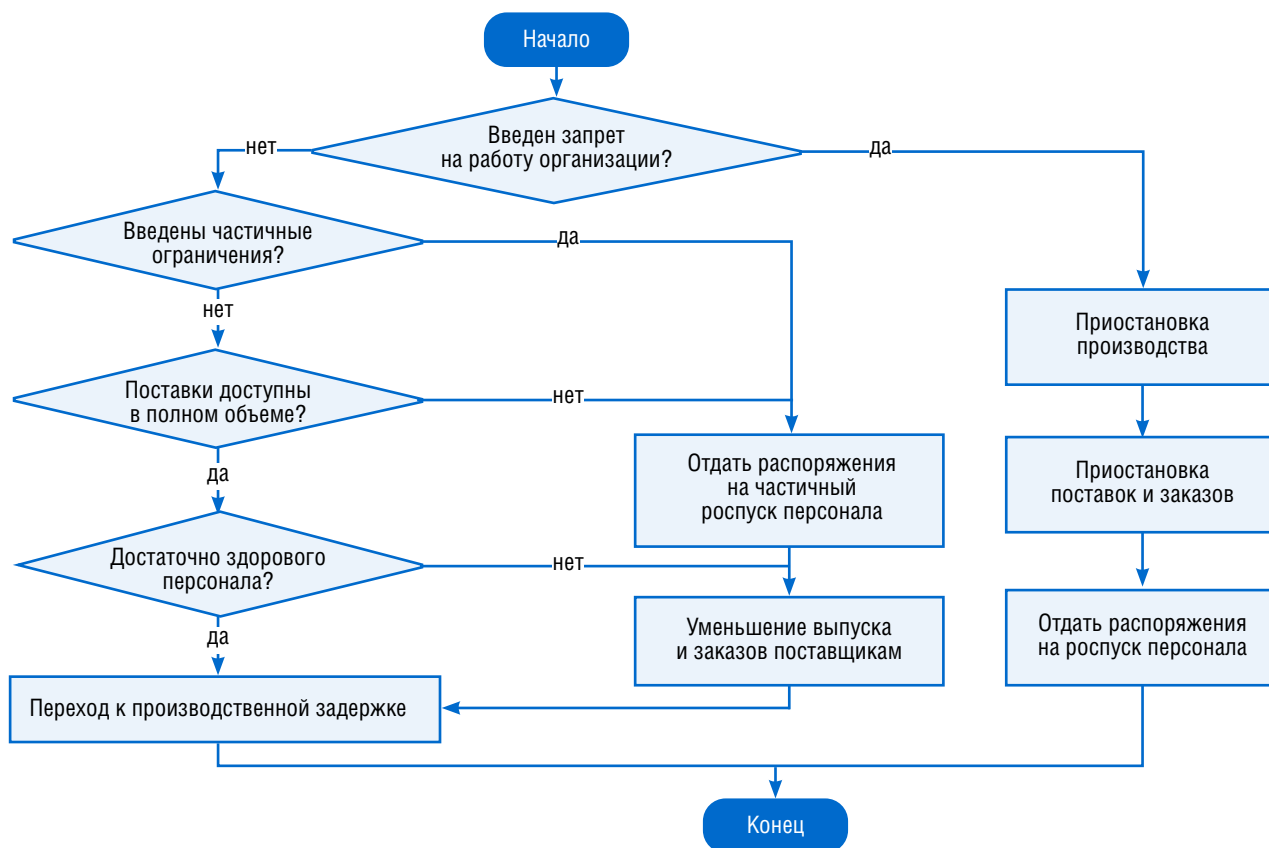


Рис. 8. Алгоритм работы AP1 «Управление производством».

Все действия, связанные с сотрудниками организации, осуществляются в активном решателе AP2 «Управление персоналом» (рис. 9). Здесь выбираются сотрудники, отправляемые в бессрочный отпуск (на основе распоряжений AP1) и на дистанционную работу (на основе рекомендаций ИЗ), а также ведется сбор сведений о заболевших и попавших на карантин сотрудниках. Если имеются соответствующие рекомендации, то сотрудники, работавшие в одном отделе с заболевшим в офлайн-режиме, также отправляются на карантин. Сведения о выбывших из рабочего процесса сотрудников передаются в AP1 и могут быть учтены им при корректировке производственного плана.

Активный решатель AP3 «Управление распространением эпидемии» отражает работу системы здравоохранения в период распространения эпидемии (рис. 10). Он осуществляет действия по открытию больничных листов для заболевших агентов и помещению проживающих с ними членов семьи на карантин, закрывает больничные для выздоровевших и карантины для агентов, оставшихся

здоровыми после окончания инкубационного периода. Сведения об этих операциях передаются в AP по управлению кадрами в соответствующих организациях.

В базе данных АОМ распространения эпидемии хранится вся информация об организациях, жителях и взаимосвязях между ними (рис. 11). Основные контакты агента определяются через домохозяйство, где он проживает; группу, в которой он учится; отдел организации, в котором он работает. Организации относятся к отраслям, для которых задаются противоэпидемические ограничения. Также в модели есть возможность задавать выборочные (например, для школьников младших классов) и общие (переход на дистанционное обучение всех учащихся) ограничения для образовательных организаций и общие ограничения (самоизоляция) для населения.

АОМ распространения эпидемий программно реализована на языке C# и является частью программного комплекса МЕБИУС для моделирова-

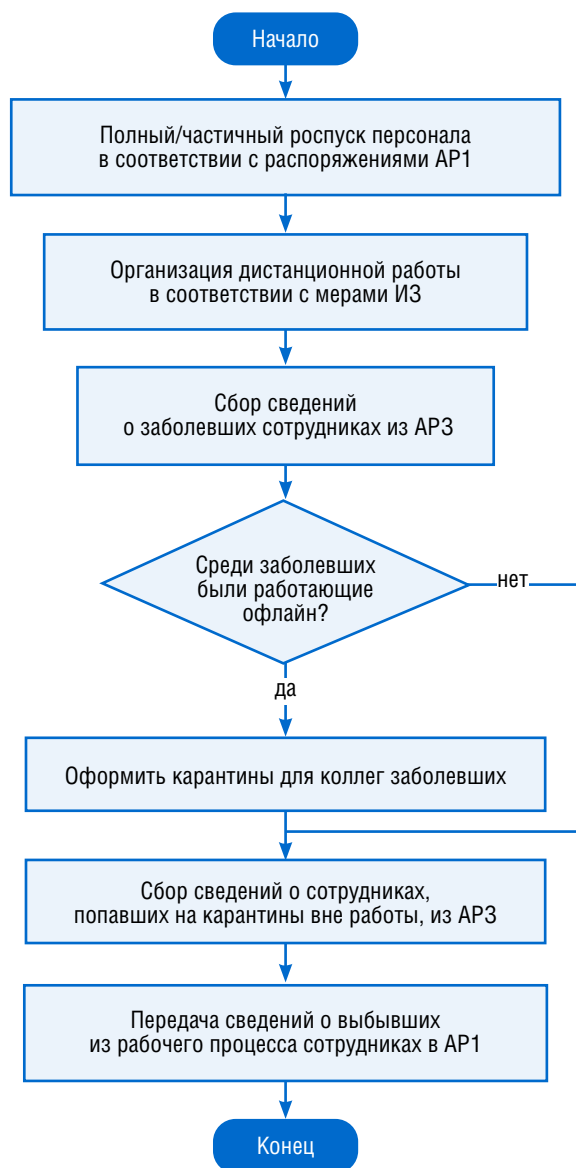


Рис. 9. Алгоритм АР2 «Управление персоналом».

ния сложных социально-экономических процессов [27]. Обращение к базе данных организовано с помощью СУБД PostgreSQL.

2. Результаты и обсуждение

Информационное наполнение АОМ распространения эпидемий осуществлялось на основе данных из ряда официальных источников:

1. Всероссийской переписи населения 2020–2021 (численность и половозрастная структура населения регионов России, состав домохозяйств, сведения о семейном положении) [33].

2. Международной базы ACAPS (детальные сведения о вводимых в регионах России эпидемиологических ограничениях в период распространения COVID-19) [34].
3. Федеральной службы государственной статистики (производство, потребление, занятость в организациях различных отраслей) [33].
4. Министерства экономического развития РФ (данные о динамике промышленного производства для калибровки модели) [35].

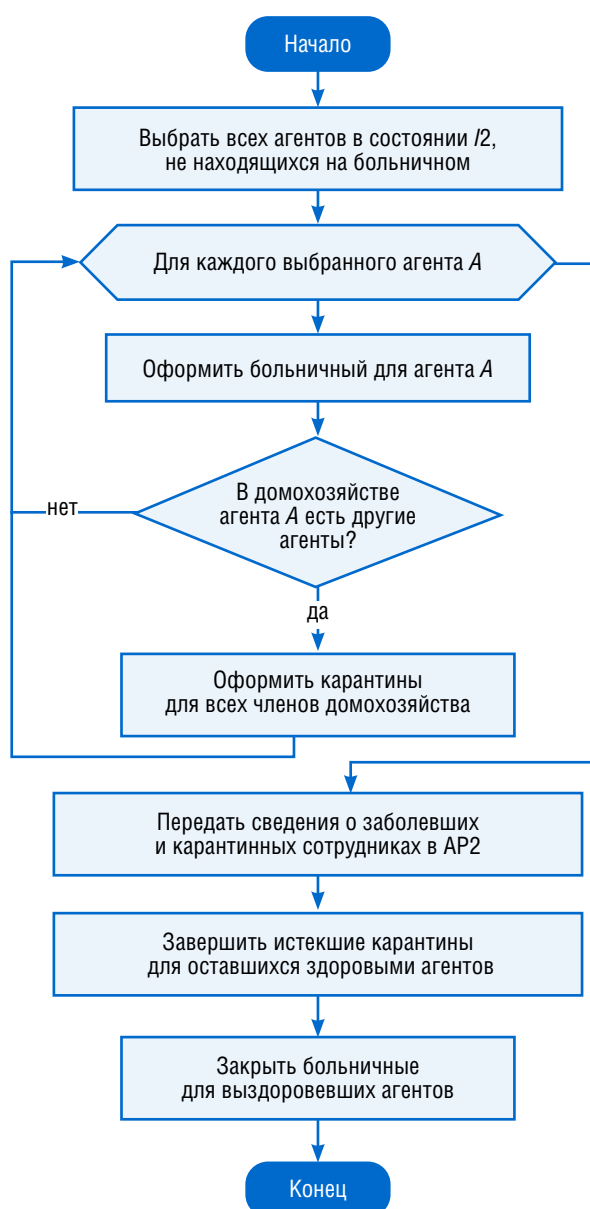


Рис. 10. Алгоритм АР3 «Управление распространением эпидемии».

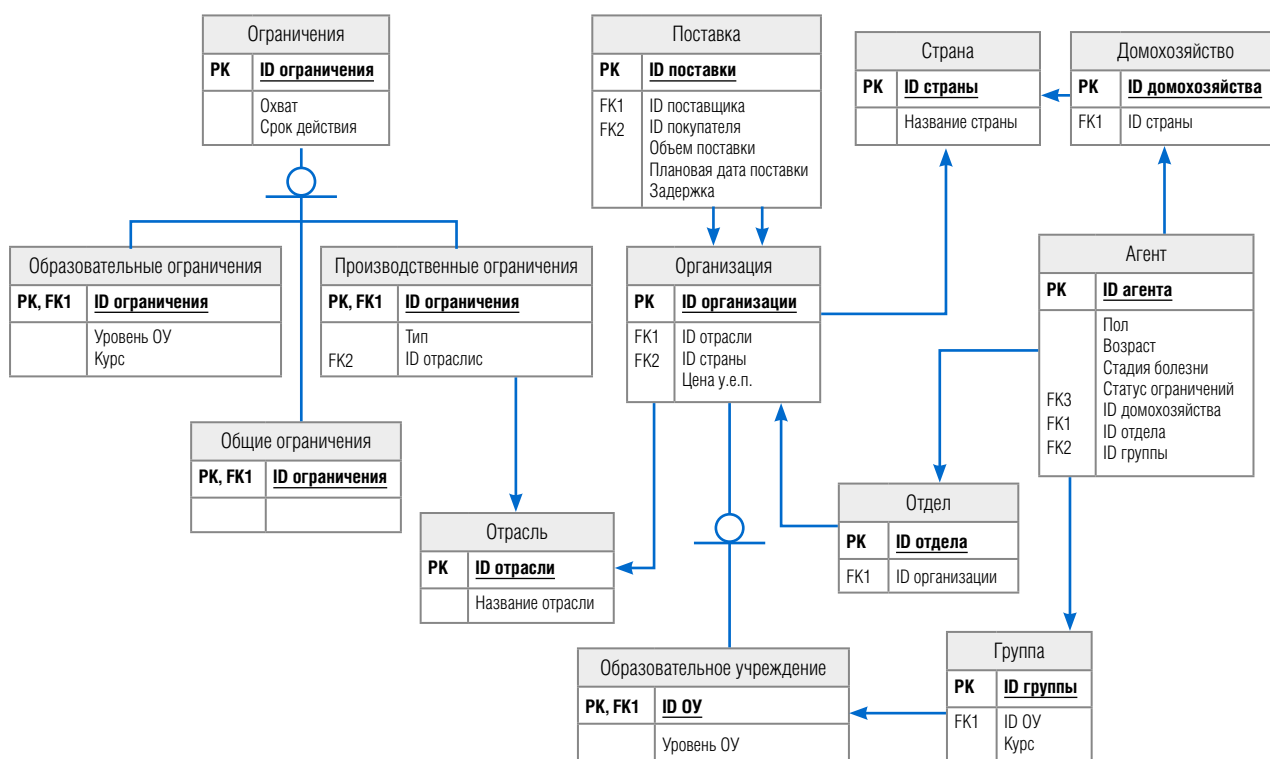


Рис. 11. Фрагмент базы данных АОМ распространения эпидемии.

5. Министерства науки и высшего образования РФ (численность студентов, обучающихся по программам высшего образования) [36].
6. Министерства просвещения РФ (численность студентов, обучающихся по программам среднего профессионального образования) [37].

Также в процессе моделирования были использованы данные о внешней торговле и действующих санкциях, а также о производстве в Китае, США, странах ЕС и остального мира, загруженные ранее в программный комплекс МЕБИУС в рамках модели торговых войн [38].

После загрузки исходных данных была проведена процедура калибровки модели на ретроспективных данных за 2024 год, в процессе которой устанавливались значения спроса, инфляции и курса валют, а также производилась настройка параметров выпуска предприятий и организаций в соответствии с данными Министерства экономического развития о динамике отраслей промышленности [39]. Параметры базового прогноза на 2025 год также были приведены в соответствие с актуальным прогнозом Министерства экономического развития [40] (таблица 3).

Сравнение результатов моделирования с ретроспективными данными и оценками Министерства экономического развития представлено в таблице 4. В базовом прогнозе на 2025 год в процессе калибровки удалось добиться полного соответствия индексов промышленного и обрабатывающего производств, динамика ВВП показывает отклонение в 0,3%. В ретроспективном периоде 2024 года отклонение ВВП составляет 0,1%, а отклонения индексов промышленного и обрабатывающего производств не превосходят 1% (таблица 4).

Для моделирования работы предприятий в условиях эпидемии были заданы параметры заболеваемости и смертности, аналогичные наблюдавшимся в первый год распространения COVID-19. Ограничительные и стимулирующие меры государств были рассмотрены в рамках следующих сценариев:

Сценарий № 1 «консервативный в РФ и мире». Эпидемиологические ограничения, вводившиеся при распространении COVID-19: карантин для заболевших и членов их семей, запрет массовых мероприятий, ограничения на работу организаций торговли и сферы услуг [34]; финансовые стимулы: пособия для временно оставшихся без работы со-

Таблица 3.

**Динамика выпуска предприятий и организаций различных отраслей в модели,
в процентах относительно предшествующего года**

№ отрасли в модели	Название отрасли	2024 год (ретроспективное моделирование)	2025 год (базовый прогноз)
2	Добыча полезных ископаемых	–0,8	0,6
3	Производство топлива	–2,1	0,3
5	Химическое производство	4,9	1,6
6	Производство материалов	5,4	1,8
7	Производство оборудования и транспорта	19,2	9,2
8	Легкая промышленность	7,9	2,9
9	Услуги	2,6	1,6
10	Торговля	5,4	3,2

Таблица 4.

**Сравнение результатов моделирования
с ретроспективными данными и оценками МинЭР, в процентах**

Показатель	Результаты моделирования, год		Данные за 2024 г.	Оценки на 2025 г.
	2024	2025 (базовый прогноз)		
Индекс промышленного производства (отрасли 2, 3, 5–8)	104,4	102,6	104,6	102,6
Индекс обрабатывающих производств (отрасли 5–8)	109,5	104,3	108,6	104,3
Динамика валового внутреннего продукта	104,2	102,2	104,1	102,5

трудников, дополнительные пособия для семей с детьми, кредитные и налоговые каникулы, снижение процентных ставок до 4,25% [41]. Для экономики остальных стран в модели вводятся параметры снижения спроса, соответствующие вводимым в 2020 году мерам (–5%).

Сценарий № 2 «мягкий в РФ, консервативный в мире». Ограничение государственного вмешательства в России карантинами для заболевших и их семей; отсутствие специальных финансовых стимулов. Параметры для стран остального мира аналогичны сценарию № 1.

Сценарий № 3 «консервативный усиленный». Эпидемиологические ограничения в России аналогичны сценарию № 1; финансовые стимулы расширены (увеличение размера пособий и расширение списка категорий граждан, которым они положены, снижение процентных ставок до 2,5%). Параметры для стран остального мира аналогичны сценарию № 1.

Сценарий № 4 «консервативный в РФ, мягкий в мире». Эпидемиологические ограничения и финансовые стимулы в России аналогичны сценарию № 1; ограничение государственного вмешательства в остальном мире, что отражается гораздо меньшим снижением спроса (–0,5%).

Сценарий № 5 «мягкий в РФ и мире». Эпидемиологические ограничения и финансовые стимулы в России аналогичны сценарию № 2; параметры для стран остального мира аналогичны сценарию № 4.

В таблице 5 представлен прогноз динамики выпуска предприятий и организаций в различных сценариях эпидемиологической ситуации относительно предшествующего года.

Выпуск предприятий по добыче полезных ископаемых показывает большую чувствительность к внешнеэкономическим условиям, чем к ограничениям внутри страны, тогда как предприятия по производству топлива положительно реагируют на любое смягчение (рис. 12).

Таблица 5.

**Прогноз динамики выпуска предприятий и организаций
в различных сценариях эпидемиологической ситуации, в процентах**

№ отрасли в модели	Название отрасли	№ сценария				
		1	2	3	4	5
2	Добыча полезных ископаемых	-2,2	-1,7	-1,7	-0,3	0,1
3	Производство топлива	-1,7	-0,6	-0,7	-0,9	0,1
5	Химическое производство	0,3	1,2	1,1	0,4	1,3
6	Производство материалов	-0,2	0,3	0,3	-0,1	0,4
7	Производство оборудования и транспорта	1,4	2,4	2,3	1,5	2,5
8	Легкая промышленность	-1,6	1,6	1,3	-1,5	1,7
9	Услуги	-7,6	-2,5	-5,8	-7,6	-0,1
10	Торговля	-4,3	-0,2	-0,6	-4,3	-0,2

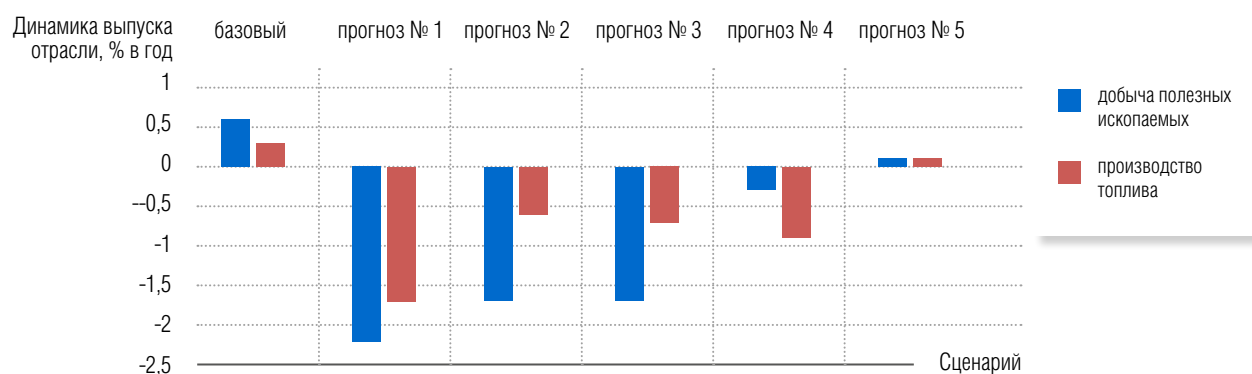


Рис. 12. Динамика выпуска предприятий добывающих отраслей
в условиях различных эпидемиологических сценариев.

Из предприятий обрабатывающих отраслей наибольшую чувствительность к смягчению ограничений и усилению финансовых стимулов внутри страны показывают предприятия легкой промышленности, при этом объемы их выпуска слабо зависят от изменения мировой конъюнктуры (рис. 13). Предприятия химического производства и производства материалов (к которым в модели относятся также металлургические и деревообрабатывающие предприятия) в целом испытывают меньшее снижение выпуска в условиях эпидемии (снижение в пределах 0,2% или небольшой рост).

Наибольшую чувствительность к распространению эпидемии и при этом наименьшую — к изменению параметров ее государственного регулирования показывают предприятия, производящие оборудование и транспорт, что связано с общим

снижением инвестиционной активности предприятий, однако даже они во всех сценариях показывают небольшой рост.

Динамика выпуска организаций торговли и сферы услуг (рис. 14) в наибольшей степени зависит от внутренних мер государственного регулирования распространения эпидемии, причем сфера услуг в большей мере зависит от вводимых ограничений (смягчение ограничений в России отражено в сценариях № 2 и № 5), а торговля также позитивно реагирует на усиление финансовых стимулов даже при жестких ограничениях (сценарий № 3).

В целом, общий спад промышленного производства в условиях распространения эпидемии оказывается меньше, чем спад в обрабатывающих производствах (таблица 6).

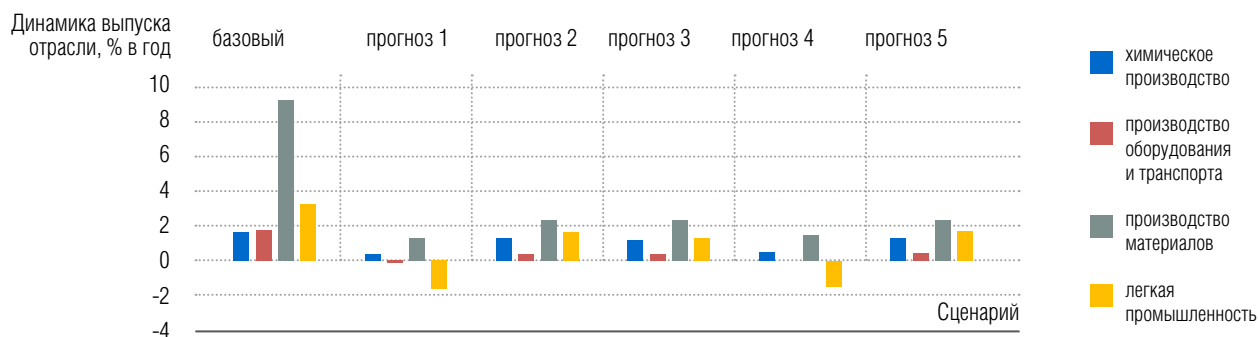


Рис. 13. Динамика выпуска предприятий обрабатывающих отраслей в условиях различных эпидемиологических сценариев.

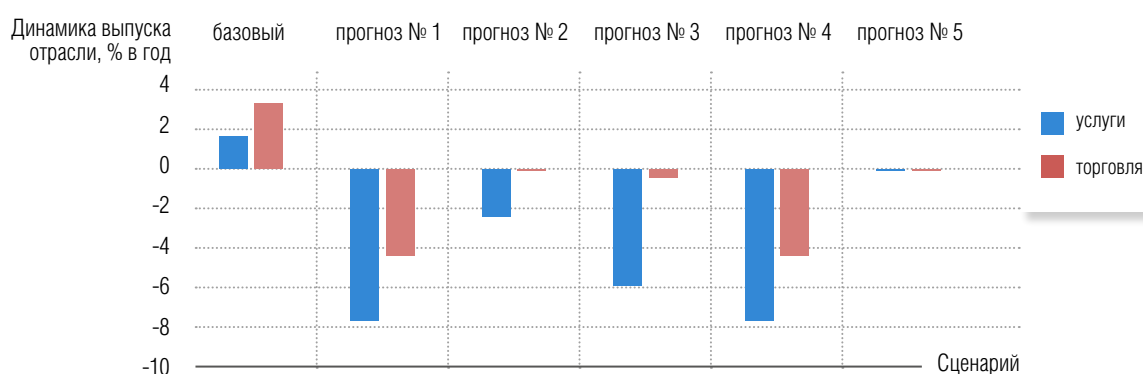


Рис. 14. Динамика выпуска организаций торговли и сферы услуг в условиях различных эпидемиологических сценариев.

Таблица 6.

**Прогноз динамики экономических показателей
в различных сценариях эпидемиологической ситуации,
в процентах относительно предшествующего года**

Показатель	№ сценария				
	1	2	3	4	5
Промышленное производство (отрасли 2, 3, 5–8)	–0,7	0,1	0,1	0	0,8
Обрабатывающие производства (отрасли 5–8)	0,4	1,3	1,2	0,5	1,4
Валовой внутренний продукт	–4,21	–1,79	–2,29	–3,49	–1,08

Валовой внутренний продукт показывает отрицательную динамику во всех рассмотренных сценариях противоэпидемических мер. Чем слабее карантинные ограничения, тем меньше общий спад экономики, однако выбытие сотрудников из производственного процесса, задержки поставок, снижение спроса и инвестиций все равно имеют серьезный негативный эффект.

Ценность полученных результатов заключается не только в полученных прогнозах и выводах,

но и в разработке методологии и инструментария исследования, которые позволят быстро актуализировать рекомендации в случае обострения эпидемиологической обстановки. В качестве ограничений проведенного исследования следует отметить допущение о том, что все жители соблюдают введенные ограничения, тогда как опыт эпидемии коронавируса показал, что среди населения в любой стране присутствует категория их принципиальных нарушителей.

Заключение

В данной работе представлена агент-ориентированная модель для оценки последствий эпидемий для экономики и общества. В модели отражается взаимодействие жителей и организаций, а также государственные противоэпидемические ограничения и меры поддержки. Работа предприятий моделируется с высокой степенью детализации с помощью дискретно-ситуационной сети, в которой отражается управление производством и кадрами в условиях распространения эпидемии. В качестве исходных данных моделирования используется информация Федеральной службы государственной статистики, Всероссийской переписи населения, ряда министерств и международной базы данных ACAPS. В процессе калибровки модели на ретроспективных данных за 2024 год были установлены значения спроса и выпуска предприятий.

Основной задачей данной работы стала оценка изменений в работе предприятий промышленности, торговли и сферы услуг в условиях распространения эпидемии. Для построения прогнозов было сформировано пять сценариев, отражающих различные сочетания противоэпидемических мер и финансовых стимулов в России и в мире. В качестве сценарных параметров устанавливались объемы внешней торговли энергоносителями и цены на них, инфляция, курс рубля относительно мировых валют и динамика внутреннего спроса. Целью компьютерных экспериментов на разработанной модели была оценка влияния эпидемий и направленных против них ограничительных мер на объемы выпуска продукции и оказания услуг.

Анализ результатов расчетов проводился для организаций в разрезе их отраслевой принадлежности. Так, предприятия по добыче полезных ископаемых показывают наибольшую чувствительность к внешнеэкономическим условиям, определяемым, в свою очередь, жесткостью противоэпидемических ограничений в странах — торговых партнерах. При смягчении ограничений за рубежом выпуск добывающих предприятий снижается на 0,3%, по сравнению со снижением на

2,2% в условиях жестких ограничений. Напротив, выпуск предприятий легкой промышленности больше связан с ограничениями внутри страны (–1,6% при жестких ограничениях и рост 1,6% при их ослаблении). Предприятия химического производства и производства материалов в целом испытывают меньшее снижение выпуска в условиях эпидемии (в пределах 0,2% или небольшой рост), как и предприятия, производящие оборудование и транспорт (рост на 1,5–2% относительно предшествующего года), однако последние ощущают сильный спад относительно базового сценария (–8%). Ожидается, в наибольшей степени от противоэпидемических мер зависит объем оказания услуг организациями торговли и сферы обслуживания, для сферы услуг эта разница составляет 7,5% (падение на 0,1% в условиях мягких ограничений и на 7,6% — при жестких).

Значимость проведенных исследований связана, в первую очередь, с разработкой комплексного инструментария для прогнозирования последствий эпидемий. Поскольку представленная модель входит в программный комплекс МЕБИ-УС, в ней помимо процессов распространения заболевания среди населения отражаются их экономические последствия, связанные с выбытием сотрудников из производственного процесса, снижением доходов и спроса, что может быть полезно для руководителей при организации противоэпидемических мер на своих предприятиях. Также благодаря модулю мировой торговли при проведении расчетов учитывается влияние мировой конъюнктуры на работу отечественных предприятий. Важным направлением дальнейших исследований является более детальный анализ поведения людей в условиях введения противоэпидемических ограничений, в частности, их готовности соблюдать эти ограничения. ■

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта № 075-15-2024-525 от 23.04.2024.

Литература

1. Ответ российского бизнеса на пандемию (Круглый стол в НИУ ВШЭ) // Вопросы экономики. 2022. № 2. С.147–160.
2. Минакир П.А. Экономика пандемии: дальневосточный аспект // Пространственная экономика. 2020. Т. 16. № 4. С. 7–22. <https://doi.org/10.14530/se.2020.4.007-022>

3. Targeting conserved epitopes in structural proteins: a next-generation vaccine strategy against the newly identified HKU5-CoV-2 virus / de Araújo [et al.] // *Signal Transduction and Targeted Therapy* (electronic journal). 2025. Vol. 10. Article 164. <https://doi.org/10.1038/s41392-025-02257-0>
4. Toward a containment strategy for smallpox bioterror: An individual-based computational approach / J.M. Epstein [et al.] // *Center on Social and Economic Dynamics*. 2002. Working Paper No. 31. [Электронный ресурс]: <https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2016/06/bioterrorism.pdf> (дата обращения 12.06.2025).
5. Parker J., Epstein J.M. A distributed platform for global-scale agent-based models of disease transmission // *ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation*. 2011. Vol. 22(1). Article 2. <https://doi.org/10.1145/2043635.2043637>
6. Aleman D.M., Wibisono T.G., Schwartz B. A nonhomogeneous agent-based simulation approach to modeling the spread of disease in a pandemic outbreak // *Interfaces*. 2011. Vol. 41 (3). P. 301–315. <https://doi.org/10.1287/inte.1100.0550>
7. Hunter E., Namee B.M., Kelleher J.A. A taxonomy for agent-based models in human infectious disease epidemiology // *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. 2017. Vol. 20(3). Article 2. <https://doi.org/10.18564/jasss.3414>
8. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Агеева А.Ф. Моделирование эпидемии COVID-19 — преимущества агент-ориентированного подхода // *Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз*. 2020. Т. 13. № 4. С. 58–73. <https://doi.org/10.15838/esc.2020.4.70.3>
9. Lorig F., Johansson E., Davidsson P. Agent-based social simulation of the Covid-19 pandemic: A systematic review // *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. 2021. Vol. 24(3). Article 5. <https://doi.org/10.18564/jasss.4601>
10. Bouchnita A., Jebrane A. A hybrid multi-scale model of COVID-19 transmission dynamics to assess the potential of non-pharmaceutical interventions // *Chaos, Solitons & Fractals*. 2020. Vol. 138. Article 109941. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.109941>
11. Simulating the effect of school closure during COVID-19 outbreaks in Ontario, Canada / E. Abdollahi [et al.] // *BMC Medicine*. 2020. Vol. 18. Article 230. <https://doi.org/10.1186/s12916-020-01705-8>
12. How simulation modelling can help reduce the impact of COVID-19 / C.S.M. Currie [et al.] // *Journal of Simulation*. 2020. Vol. 14(2). P. 83–97. <https://doi.org/10.1080/17477778.2020.1751570>
13. Braun B., Taraktas B., Beckage B., Molofsky J. Simulating phase transitions and control measures for network epidemics caused by infections with presymptomatic, asymptomatic, and symptomatic stages // *PloS ONE*. 2020. Vol. 15(9). e0238412. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238412>
14. Using a real-world network to model localized COVID-19 control strategies / J.A. Firth [et al.] // *Nature Medicine*. 2020. Vol. 26(10). P. 1616–1622. <https://doi.org/10.1038/s41591-020-1036-8>
15. Churches T., Jorm L. Flexible, freely available stochastic individual contact model for exploring COVID-19 intervention and control strategies: Development and simulation // *JMIR Public Health and Surveillance*. 2020. Vol. 6(3). e18965. <https://doi.org/10.2196/18965>
16. Modelling the impact of testing, contact tracing and household quarantine on second waves of COVID-19 / A. Aleta [et al.] // *Nature Human Behaviour*. 2020. Vol. 4. P. 964–971. <https://doi.org/10.1038/s41562-020-0931-9>
17. Dehkordi M.A.E., Melnyk A., Herder P., Ghorbani A. Examining the interplay between national strategies and value change in the battle against COVID-19: An agent-based modelling inquiry // *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. 2024. Vol. 27(1). Article 18. <https://doi.org/10.18564/jasss.5283>
18. Wildman W., Hodulik G., Shults F.L. The role of values in pandemic management: An agent-based model // *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. 2024. Vol. 27(1). Article 19. <https://doi.org/10.18564/jasss.5350>
19. How culture influences the management of a pandemic: A simulation of the COVID-19 crisis / K. Kreulen [et al.] // *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. 2022. Vol. 25(3). Article 6. <https://doi.org/10.18564/jasss.4877>
20. Zhang Z., Jalali M., Ghaffarzadegan N. Behavioral dynamics of epidemic trajectories and vaccination strategies: A simulation-based analysis // *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. 2025. Vol. 28(1). Article 3. <https://doi.org/10.18564/jasss.5583>
21. Li T., Jager W. How availability heuristic, confirmation bias and fear may drive societal polarization: An opinion dynamics simulation of the case of COVID-19 vaccination // *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. 2023. Vol. 26(4). Article 2. <https://doi.org/10.18564/jasss.5135>
22. Zhang Z., Jalali M.S., Ghaffarzadegan N. Behavioral dynamics of epidemic trajectories and vaccination strategies: A simulation-based analysis // *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. 2025. Vol. 28(1). Article 3. <https://doi.org/10.18564/jasss.5583>
23. Railsback S., Grimm V. *Agent-based and individual-based modeling: A practical introduction*. Second Edition. Princeton University Press, 2019.
24. Yang X., Zhou P. Wealth inequality and social mobility: A simulation-based modelling approach // *Journal of Economic Behavior & Organization*. 2022. Vol. 196. P. 307–329.
25. Поспелов Д.А. *Ситуационное управление: Теория и практика*. Изд. 2. М.: URSS, 2021.
26. Tesfatsion L. *Agent-based computational economics: A constructive approach to economic theory* // *Handbook of Computational Economics*. 2006. Vol. 2. Chap. 16. P. 831–880.

27. Программно-аналитический комплекс «МЁБИУС» — инструмент планирования, мониторинга и прогнозирования социально-экономической системы России / В.Л. Макаров [и др.] // Искусственные общества. 2020. Т. 15. Выпуск 4. <https://doi.org/10.18254/S207751800012303-2>
28. 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(112). С. 48–55.
29. Машкова А.Л., Савина О.А. Управление финансовыми потоками агентов-предприятий в модели экспериментальной экономики // Управленческий учет. 2015. № 12. С. 89–98.
30. Simulating budget system in the agent model of the Russian Federation spatial development / Mashkova A.L. [et al.] // Electronic Governance and Open Society: Challenges in Eurasia. EGOS 2019 (eds. A. Chugunov, I. Khodachek, Y. Misnikov, D. Trutnev). Communications in Computer and Information Science. 2020. Vol. 1135. P.17–31.
31. Anderson R.M., May R.M. Infectious diseases of humans: Dynamics and control. Oxford, MA: Oxford University Press, 1991.
32. Generating social environment for agent-based models of computational economy / A.L. Mashkova [et al.] // Electronic Governance and Open Society: Challenges in Eurasia. EGOS 2020 (eds. A. Chugunov, I. Khodachek, Y. Misnikov, D. Trutnev). Communications in Computer and Information Science. 2020. Vol. 1349. P. 291–305. https://doi.org/10.1007/978-3-030-67238-6_21
33. Федеральная служба государственной статистики. [Электронный ресурс]: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения 14.06.2025).
34. Covid-19 Government Measures Dataset. [Электронный ресурс]: <https://data.humdata.org/dataset/acaps-covid19-government-measures-dataset> (дата обращения 14.06.2025).
35. Министерство экономического развития РФ. [Электронный ресурс]: <https://www.economy.gov.ru/> (дата обращения 14.06.2025).
36. Министерство науки и высшего образования РФ. [Электронный ресурс]: <https://minobrnauki.gov.ru/> (дата обращения 14.06.2025).
37. Министерство просвещения РФ. [Электронный ресурс]: <https://edu.gov.ru/> (дата обращения 14.06.2025).
38. 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. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2023.1.18.36>
39. О динамике промышленного производства. Итоги 2024 года. Министерство экономического развития РФ. 2015. [Электронный ресурс]: https://www.economy.gov.ru/material/directions/makroec/ekonomicheskie_obzory/o_dinamike_promyshlennogo_proizvodstva_itogi_2024_goda.html (дата обращения 12.06.2025).
40. Сценарные условия функционирования экономики Российской Федерации, основные параметры прогноза социально-экономического развития Российской Федерации и прогнозируемые изменения цен (тарифов) на товары, услуги хозяйствующих субъектов, осуществляющих регулируемые виды деятельности в инфраструктурном секторе, на 2026 год и на плановый период 2027 и 2028 годов. Министерство экономического развития РФ. [Электронный ресурс]: https://www.economy.gov.ru/material/directions/makroec/prognozy_socialno_ekonomicheskogo_razvitiya/scenarnye_usloviya_funkcionirovaniya_ekonomiki_rf_osnovnye_parametry_prognoza_socialno_ekonomicheskogo_razvitiya_rf_na_2026_god_i_na_planovyy_period_2027_i_2028_godov.html (дата обращения 14.06.2025).
41. Антикризисные меры поддержки граждан, установленные в Российской Федерации в связи с распространением новой коронавирусной инфекции (COVID-19). [Электронный ресурс]: http://komitet2-6.km.duma.gov.ru/Novosti_Komiteta/item/22059924/ (дата обращения 14.06.2025).

Об авторах

Машкова Александра Леонидовна

кандидат технических наук;

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

E-mail: aleks.savina@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1701-5324

Бахтизин Альберт Рауфович

доктор экономических наук, член-корреспондент РАН, профессор РАН;

директор, Центральный экономико-математического институт РАН, Россия, 117418, г. Москва, Нахимовский пр-т, д. 47;

E-mail: albert.bakhtizin@gmail.com

ORCID: 0000-0002-9649-0168

Simulating operation of enterprises in epidemic conditions using agent-based and situational approaches

Alexandra L. Mashkova

E-mail: aleks.savina@gmail.com

Albert R. Bakhtizin

E-mail: albert.bakhtizin@gmail.com

Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract

During an epidemic, the search for balance in preventing spread of the disease and maintaining production and income of the population comes to the fore. Despite a significant number of socio-economic studies of consequences of the coronavirus crisis, there is still urgent need for the creation of tools for analyzing alternative management strategies by enterprises and the state ready for use in the event of an outbreak of new dangerous infections. The purpose of this study is to simulate changes in the work of industrial, trade and service enterprises associated with the spread of the epidemic and the impact of these changes on the volumes of production and services. The study presented here is using a combination of agent-based and situational modeling. The agent-based model reflects the population structure, contacts, employment and education, as well as public administration functions. Spread of the disease among population is reproduced on the basis of an automaton model. The work of enterprises in the context of the epidemic is described by a discrete-situational network, including production and personnel management. The models and algorithms we developed were built into an artificial society in the MOBIUS software package, which reproduces the population and economy of Russia, as well as its trade relations with foreign countries. The calculations were carried out within the baseline scenario and five epidemic scenarios reflecting various combinations of restrictive measures and financial incentives. Analysis of the results was carried out in the context of the industry affiliation of organizations. The greatest sensitivity to foreign economic conditions was shown by enterprises engaged in the extraction of minerals. When restrictions are relaxed abroad, the output of mining enterprises decreases by 0.3%, compared to a decrease of 2.2% under strict restrictions. Enterprises in the manufacturing industries experience a smaller decrease in output in the context of the epidemic compared to the previous year, but it is quite noticeable compared to the baseline scenario. In the service sector, the decline is 7.6% under strict restrictions and 0.1% under soft restrictions.

Keywords: agent-based model, discrete-situational network, software package, database, production management, anti-epidemic restrictions

Citation: Mashkova A.L., Bakhtizin A.R. (2025) Simulating operation of enterprises in epidemic conditions using agent-based and situational approaches. *Business Informatics*, vol. 19, no. 4, pp. 7–25.
DOI: 10.17323/2587-814X.2025.4.7.25

References

1. Russian business response to the pandemic (The round table at the HSE University) (2022) *Voprosy Ekonomiki*, no. 5, pp. 147–160 (in Russian).
2. Minakir P.A. (2020) The Economy of the pandemic: The far eastern aspect. *Prostranstvennaya ekonomika*, vol. 16, no. 4, pp. 7–22 (in Russian). <https://doi.org/10.14530/se.2020.4.007-022>
3. de Araújo L.P., Silva E.N., Costa A.L.C., et al. (2025) Targeting conserved epitopes in structural proteins: A next-generation vaccine strategy against the newly identified HKU5-CoV-2 virus. *Signal Transduction and Targeted Therapy* (electronic journal), vol. 10, article 164. <https://doi.org/10.1038/s41392-025-02257-0>
4. Epstein J.M., Cummings D.A.T., Chakravarty S., et al. (2002) Toward a containment strategy for smallpox bioterror: An individual-based computational approach. *Center on Social and Economic Dynamics*, Working Paper No. 31. Available at: <https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2016/06/bioterrorism.pdf> (accessed 12 June 2025).
5. Parker J., Epstein J.M. (2011) A distributed platform for global-scale agent-based models of disease transmission. *ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation*, vol. 22(1), article 2. <https://doi.org/10.1145/2043635.2043637>
6. Aleman D.M., Wibisono T.G., Schwartz B. (2011) A nonhomogeneous agent-based simulation approach to modeling the spread of disease in a pandemic outbreak. *Interfaces*, vol. 41, no. 3, pp. 301–315. <https://doi.org/10.1287/inte.1100.0550>
7. Hunter E., Namee B.M., Kelleher J.A. (2017) A taxonomy for agent-based models in human infectious disease epidemiology. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 20(3), article 2. <https://doi.org/10.18564/jasss.3414>
8. Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Sushko E.D., Ageeva A.F. (2020) COVID-19 epidemic modeling — advantages of an agent-based approach. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, vol. 13, no. 4, pp. 58–73. <https://doi.org/10.15838/esc.2020.4.70.3>
9. Lorig F., Johansson E., Davidsson P. (2021) Agent-based social simulation of the COVID-19 pandemic: A systematic review. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 24(3), article 5. <https://doi.org/10.18564/jasss.4601>
10. Bouchnita A., Jebrane A. (2020) A hybrid multi-scale model of COVID-19 transmission dynamics to assess the potential of non-pharmaceutical interventions. *Chaos, Solitons & Fractals*, vol. 138, article 109941. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.109941>
11. Abdollahi E., Haworth-Brockman M., Keynan Y., et al. (2020) Simulating the effect of school closure during COVID-19 outbreaks in Ontario, Canada. *BMC Medicine*, vol. 18, article 230. <https://doi.org/10.1186/s12916-020-01705-8>
12. Currie C.S.M., Fowler J.W., Kotiadis K., et al. (2020) How simulation modelling can help reduce the impact of COVID-19. *Journal of Simulation*, vol. 14(2), pp. 83–97. <https://doi.org/10.1080/17477778.2020.1751570>
13. Braun B., Taraktas B., Beckage B., Molofsky J. (2020) Simulating phase transitions and control measures for network epidemics caused by infections with presymptomatic, asymptomatic, and symptomatic stages. *PLoS ONE*, vol. 15(9), e0238412. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238412>
14. Firth J.A., Hellewell J., Klepac P., et al. (2020) Using a real-world network to model localized COVID-19 control strategies. *Nature Medicine*, vol. 26(10), pp. 1616–1622. <https://doi.org/10.1038/s41591-020-1036-8>
15. Churches T., Jorm L. (2020) Flexible, freely available stochastic individual contact model for exploring COVID-19 intervention and control strategies: Development and simulation. *JMIR Public Health and Surveillance*, vol. 6, no. 3, e18965. <https://doi.org/10.2196/18965>
16. Aleta A., Martín-Corral D., Pastore y Piontti A., et al. (2020) Modelling the impact of testing, contact tracing and household quarantine on second waves of COVID-19. *Nature Human Behaviour*, vol. 4(9), pp. 964–971. <https://doi.org/10.1038/s41562-020-0931-9>
17. Dehkordi M.A.E., Melnyk A., Herder P., Ghorbani A. (2024) Examining the interplay between national strategies and value change in the battle against COVID-19: An agent-based modelling inquiry. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 27(1), article 18. <https://doi.org/10.18564/jasss.5283>
18. Wildman W., Hodulik G., Shults F. LeRon (2024) The role of values in pandemic management: An agent-based model. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 27(1), article 19. <https://doi.org/10.18564/jasss.5350>
19. Kreulen K., de Bruin B., Ghorbani A., et al. (2022) How culture influences the management of a pandemic: A simulation of the COVID-19 crisis. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 25(3), article 6. <https://doi.org/10.18564/jasss.4877>
20. Zhang Z., Jalali M., Ghaffarzadegan N. (2025) Behavioral dynamics of epidemic trajectories and vaccination strategies: A simulation-based analysis. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 28(1), article 3. <https://doi.org/10.18564/jasss.5583>
21. Li T., Jager W. (2023) How availability heuristic, confirmation bias and fear may drive societal polarization: An opinion dynamics simulation of the case of COVID-19 vaccination. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 26(4), article 2. <https://doi.org/10.18564/jasss.5135>
22. Zhang Z., Jalali M.S., Ghaffarzadegan N. (2025) Behavioral dynamics of epidemic trajectories and vaccination strategies: A simulation-based analysis. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 28(1), article 3. <https://doi.org/10.18564/jasss.5583>
23. Railsback S., Grimm V. (2019) *Agent-based and individual-based modeling: A practical introduction*. Second Edition. Princeton: Princeton University Press.
24. Yang X., Zhou P. (2022) Wealth inequality and social mobility: A simulation-based modelling approach. *Journal of Economic Behavior & Organization*, vol. 196, pp. 307–329.

25. Pospelov D.A. (2021) *Situational management: Theory and practice*. Second Edition. Moscow: URSS (in Russian).
26. Tesfatsion L. (2006) Agent-based computational economics: A constructive approach to economic theory. *Handbook of Computational Economics*, vol. 2, pp. 831–880.
27. Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Sushko E.D., et al. (2020) The software and analytical complex “MOEBIUS” is a tool for planning, monitoring and forecasting the socio-economic system of Russia. *Artificial societies*, vol. 15, no. 4 (in Russian). <https://doi.org/10.18254/S207751800012303-2>
28. 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*, vol. 2(112), pp. 48–55 (in Russian).
29. Mashkova A.L., Savina O.A. (2015) Management of financial flows of agent-enterprises in the model of experimental economy. *Management accounting*, vol. 12, pp. 89–98 (in Russian).
30. Mashkova A.L., et al. (2020) Simulating budget system in the agent model of the Russian federation spatial development. *Electronic Governance and Open Society: Challenges in Eurasia. EGOSE 2019*. (eds. A. Chugunov, I. Khodachek, Y. Misnikov, D. Trutnev). *Communications in Computer and Information Science*, vol. 1135, pp.17–31.
31. Anderson R.M., May R.M. (1991) *Infectious diseases of humans: Dynamics and control*. Oxford, MA: Oxford University Press.
32. Mashkova A.L., et al. (2020) Generating social environment for agent-based models of computational economy. *Electronic Governance and Open Society: Challenges in Eurasia. EGOSE 2020*. (eds. A. Chugunov, I. Khodachek, Y. Misnikov, D. Trutnev). *Communications in Computer and Information Science*, vol. 1349, pp. 291–305. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-Russian Federation Federal State Statistics Service>. Available at: <https://rosstat.gov.ru> (accessed 14 June 2025) (in Russian).
34. *Covid-19 Government Measures Dataset*. Available at: <https://data.humdata.org/dataset/acaps-covid19-government-measures-dataset> (accessed 10 June 2025).
35. *Ministry of Economic Development of the Russian Federation*. Available at: <https://www.economy.gov.ru> (accessed 14 June 2025) (in Russian).
36. *Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation*. Available at: <https://minobrnauki.gov.ru/> (accessed 14 June 2025) (in Russian).
37. *Ministry of Education of the Russian Federation*. Available at: <https://edu.gov.ru/> (accessed 14 June 2025) (in Russian).
38. 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. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2023.1.18.36>
39. *On the dynamics of industrial production. Results of 2024 (2025)* Ministry of Economic Development of the Russian Federation. Available at: https://www.economy.gov.ru/material/directions/makroec/ekonomicheskie_obzory/o_dinamike_promyshlennogo_proizvodstva_itogi_2024_goda.html (accessed 12 June 2025) (in Russian).
40. *Scenario conditions for the functioning of the economy of the Russian Federation, the main parameters of the forecast for the socio-economic development of the Russian Federation and the projected changes in prices (tariffs) for goods and services of economic entities carrying out regulated activities in the infrastructure sector for 2026 and for the planning period of 2027 and 2028 (2025)* Ministry of Economic Development of the Russian Federation. Available at: https://www.economy.gov.ru/material/directions/makroec/prognozy_socialno_ekonomicheskogo_razvitiya/scenariye_usloviya_funkcionirovaniya_ekonomiki_rf_osnovnye_parametry_proгноza_socialno_ekonomicheskogo_razvitiya_rf_na_2026_god_i_na_planovyy_period_2027_i_2028_godov.html (accessed 14 June 2025) (in Russian).
41. *Anti-crisis measures to support citizens established in the Russian Federation in connection with the spread of the new coronavirus infection (COVID-19)*. Available at: http://komitet2-6.km.duma.gov.ru/Novosti_Komiteta/item/22059924/ (accessed 14 June 2025) (in Russian).

About the authors

Alexandra L. Mashkova

Candidate of Sciences (Technology);

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

E-mail: aleks.savina@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1701-5324

Albert R. Bakhtizin

Doctor of Sciences (Economics), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences; Director, Central Economics and Mathematics Institute of Russian Academy of Sciences, 47 Nakhimovsky Ave., Moscow 117418, Russia;

E-mail: albert.bakhtizin@gmail.com

ORCID: 0000-0002-9649-0168