



Искусственные общества. 2013-2026

ISSN 2077-5180

URL - <http://artsoc.jes.su>

Все права защищены

Выпуск 4 Том 15. 2020

Программно-аналитический комплекс «МЁБИУС» – инструмент планирования, мониторинга и прогнозирования социально-экономической системы России

Макаров Валерий Леонидович

*Центральный экономико-математический институт Российской академии наук
Российская Федерация, Москва*

Бахтизин Альберт Рауфович

*Центральный экономико-математический институт Российской академии наук
Российская Федерация, Москва*

Сушко Елена Давидовна

*Центральный экономико-математический институт Российской академии наук
Российская Федерация, Москва*

Хабриев Булат Рамилович

*ООО «РТ-Развитие бизнеса»
Российская Федерация, Москва*

Ильин Николай Иванович

*Центральный экономико-математический институт Российской академии наук
Российская Федерация, Москва*

Аннотация

В статье описывается программно-аналитический комплекс «МЁБИУС», разработанный за десятилетний период в ЦЭМИ РАН совместно со специалистами компании «Яндекс» с использованием самых современных методов моделирования социально-экономических процессов. В его составе несколько блоков: демографический, межотраслевой, крупномасштабная модель стран Евразии, система проектирования агент-ориентированных моделей для их запуска на суперкомпьютерах. Отдельными блоками выступают модуль для расчета

интегральных показателей национальной силы и национальной безопасности для 193 стран и симулятор социально-экономической динамики для более 100 стран мира, разрабатываемый совместно с компанией Guangzhou Software Co.,Ltd, национальным суперкомпьютерным центром КНР и специалистами академии общественных наук Китая. Разработанный комплекс «МЁБИУС» может быть инструментом планирования, мониторинга и прогнозирования социально-экономической системы России, а в работе приведены примеры его практического использования.

Ключевые слова: программно-аналитический комплекс «МЁБИУС», агент-ориентированные модели, вычислимые модели общего равновесия, параллельные вычисления, суперкомпьютеры, планирование, мониторинг, прогнозирование, социально-экономическое моделирование

Дата публикации: 06.12.2020

Источник финансирования:

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема «Разработка инструментария для повышения эффективности бюджетной системы в Российской Федерации», № FMGF-2019-0007)

Ссылка для цитирования:

Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сушко Е. Д., Хабриев Б. Р., Ильин Н. И. Программно-аналитический комплекс «МЁБИУС» – инструмент планирования, мониторинга и прогнозирования социально-экономической системы России // Искусственные общества. 2020. Т. 15. Выпуск 4.
URL: <https://artsoc.jes.su/s207751800012303-2-1/> DOI: 10.18254/S207751800012303-2

¹ Происходящие в последнее время события, являющиеся малопредсказуемыми и вызывающие серьезные флуктуации во всех общественных сферах, усилили интерес к математическим и компьютерным инструментам, рассматривающим социо-эколого-экономические системы через совокупность взаимодействующих индивидуумов.

² Относительно недавно для определения взаимосвязей между различными социально-экономическими показателями и для их прогнозирования использовались преимущественно простые методы многомерного статистического анализа (к примеру, регрессионные уравнения), однако применимость последних ограничивается в основном достаточно упрощенными зависимостями, построенными на данных прошлых периодов, что снижает реалистичность проводимых расчетов.

³ За счет массового распространения персональных компьютеров и появления соответствующего программного обеспечения, начиная с 1990-х годов широкое распространение получили новые методы компьютерного моделирования социально-экономических процессов, хотя и имеющие ранние исторические корни

(в основном в виде теоретических или совсем простых практических реализаций), но широкое применение получившие сравнительно недавно. Речь идет о вычислимых моделях общего равновесия (Computable General Equilibrium (CGE)) и агент-ориентированных моделях (Agent-Based Models (ABM)).

⁴ Обзор даже наиболее известных работ, использующих эти инструменты, займет много места, поэтому мы приведем здесь результаты анализа двух крупнейших библиографических баз данных SCOPUS и Web of Science, который показал, что за последние 20 лет, начиная с 2000 г., число статей, посвященных новому инструменту изучения социально-экономических систем – агент-ориентированным моделям, возросло более чем в 120 раз, в то время как количество публикаций, использующих другие методы моделирования прирастали меньшими темпами (к примеру, объем статей, в которых применялись CGE модели – также популярный и эффективный инструмент, за это же время увеличился примерно в 50 раз). Хотя эти данные лишь косвенно свидетельствуют о частоте практического применения используемых инструментов, но, тем не менее, можно сделать вывод об усиливающейся тенденции в сторону их усложнения. Кроме того, с одной стороны, отчетливо прослеживается движение в пользу гибридизации подходов, а с другой – наблюдается тренд на большую их комплексность (охват не только стандартного набора показателей, но и интегральных индексов, вычисляемых в процессе симуляций).

⁵ Также отметим, что к настоящему времени уже разработано несколько моделей, в которых рассматривается одновременное взаимодействие нескольких государств (в отдельных случаях более 100). Среди них: GTAP, MIRAGRODEP, MIRAGE, GLOBE, MULTIMOD, GEM, Global Macrofinancial Model, The Long Term Growth Model, Moody's Research Labs Inc. Model, WorldScan, LINK, WEFM, KPMG-MACRO, NiGEM и др., а более подробный обзор приведен в статье журнала «Вестник РАН» [25]. В свете последних событий (пандемия, политические потрясения, передел рынков и разрыв глобальных производственных цепочек и др.) подобные инструменты приобретают особую актуальность, поскольку происходящие изменения в различных сферах оказывают мультипликативный эффект с прямыми и обратными связями на социально-экономические системы практически всех стран.

⁶ Разработка подобных инструментов – сложная задача, требующая больших затрат как по времени, так и по ресурсам (финансовым и интеллектуальным), поэтому их качественная практическая реализация осуществляется преимущественно в крупных научных и исследовательских центрах, международных организациях и т.д. В Центральном экономико-математическом институте РАН (ЦЭМИ РАН), являющимся крупнейшим в стране учреждением, осуществляющим исследования мирового уровня в сфере математической экономики, компьютерного моделирования, прикладной статистики, эконометрики, оптимизационных методов и других методов анализа, накоплен большой опыт по разработке CGE и ABM моделей.

⁷ Созданный Постановлением Центрального Комитета КПСС и Совета Министров СССР ЦЭМИ РАН с начала основания был ориентирован на разработку научных основ систем оптимального управления народным

хозяйством. Выдающиеся советские экономисты – основатели Института, а также основоположники отечественной экономико-математической школы сделали его крупнейшим по тем временам научным центром этого профиля в мире. Во многом это удалось за счет правильно сформированных научных направлений: В.С. Немчинов – межотраслевой баланс, экономическая кибернетика, эконометрия; В.В. Новожилов – теория оптимального планирования и ценообразования; Н.П. Федоренко – исследование теоретических и методологических основ оптимального функционирования экономики; Л.В. Канторович, В.Л. Макаров – оптимальные модели перспективного планирования.

⁸ За период с 2002 по 2020 г. в ЦЭМИ РАН были разработаны несколько CGE моделей, в которых рассматриваются отрасли, регионы, денежно-кредитные регуляторы, домашние хозяйства и прочие субъекты социально-экономической системы России [5, 9]. В некоторых CGE моделях при спецификации моделируемых субъектов использовались многослойные нейронные сети, что позволило придать этим инструментам большую реалистичность [1]. Эти модели нашли свое применение в НИР, выполненных для Минэкономразвития России, Аппарата Правительства России, ФСТ России, ПАО «Газпром», Счетной Палаты РФ, Контрольно-счетной палаты г. Москвы, Фонда социального страхования и др.

⁹ Помимо этого, за период с 2006 по 2020 гг. в ЦЭМИ РАН были разработаны и апробированы несколько АВМ, построенных, в том числе, с использованием геоинформационных и суперкомпьютерных технологий:

- ¹⁰ 1. Демографические АВМ нескольких регионов (Москвы, Санкт-Петербурга (рис. 1), Вологодской области и др.) и страны в целом. Эти модели позволяют прогнозировать изменения возрастно-половой структуры населения соответствующих субъектов с учетом его пространственного размещения [4]. Часть из них были разработаны с помощью наших коллег из Северо-Западного института управления РАНХиГС (д.э.н. В.А. Шамахова и иностранного члена РАН В.Л. Квинта [27]).

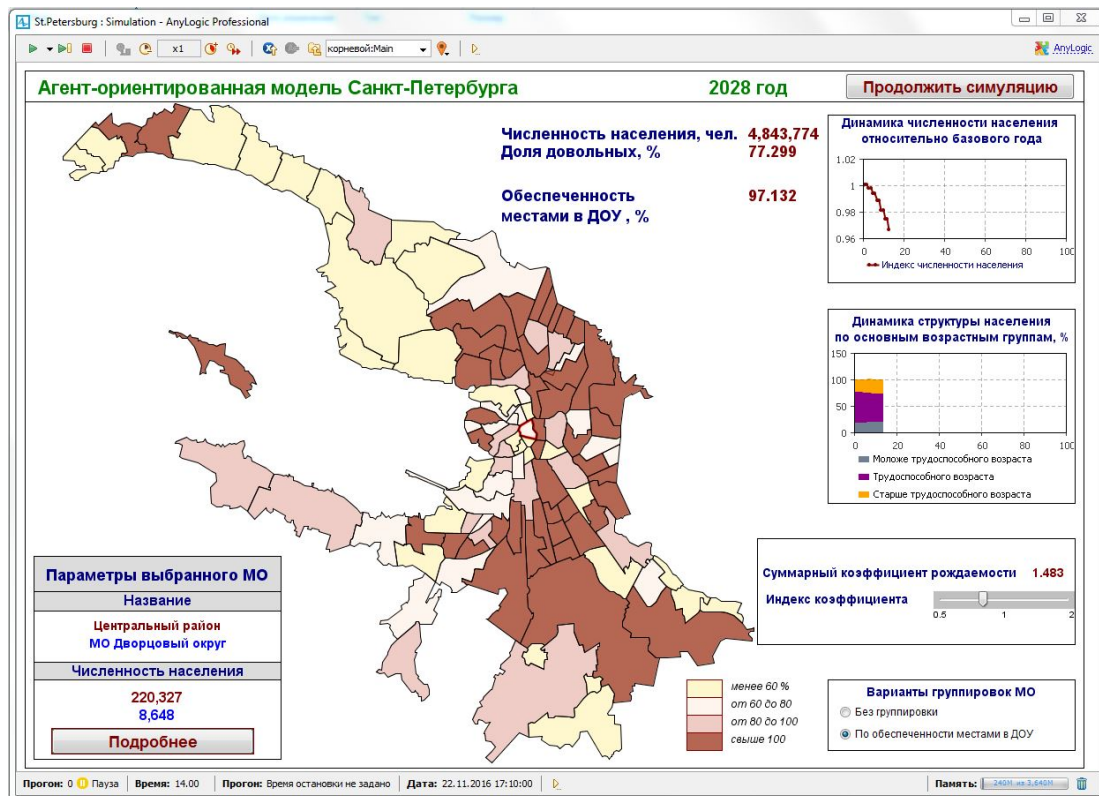
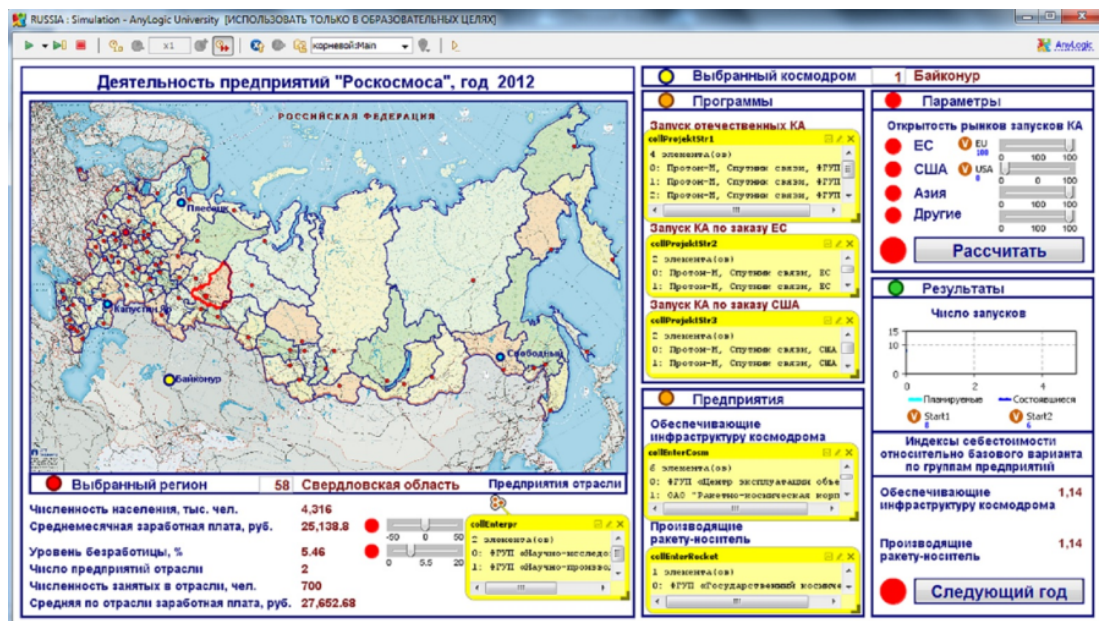


Рисунок 1. Рабочее окно агент-ориентированной модели Санкт-Петербурга

- 12 1. Отраслевая АВМ (рис. 2), реализованная на примере ракетно-космической промышленности и предназначенная для оценки мер государственной политики в промышленной сфере, направленных на реализацию крупных проектов и связанных с корректировкой соответствующих финансовых затрат [10]. Также модель может использоваться для оценки экономических ограничений и санкций, направленных против рассматриваемой отрасли.



- 14 1. Социо-эколого-экономическая АВМ региона, действующими акторами которой являются агенты двух видов – люди и предприятия. Первый тип агентов определяет демографическую ситуацию, а также часть представителей этого вида связана с агентами-предприятиями, являясь их работниками, создающими продукт соответствующей отрасли. Второй тип агентов, помимо производства продукции осуществляет выбросы (как в атмосферу, так и в водные объекты), тем самым оказывая негативное влияние на экологию региона и, как следствие, на показатели агентов первого типа, связанных со здоровьем и работоспособностью. В процессе проведения компьютерных экспериментов пользователь может менять параметры механизмов регулирования выбросов (имитация экологических требований со стороны регулирующих органов), а агенты модели, оперируя доступными для них действиями, могут сокращать объемы своих выбросов. Инструмент позволяет получать средне- и долгосрочные прогнозы изменения уровня загрязнений с учетом пространственного размещения производства и стационарных источников выбросов [11, 12].
2. Агент-ориентированная Региональная Модель «Губернатор» (рис. 3), являющаяся своего рода отработанным фреймворком для построения региональных АВМ, позволяет имитировать социально-экономические системы соответствующих территорий и предоставляет возможность управлять бюджетным процессом моделируемого субъекта России [28].

15

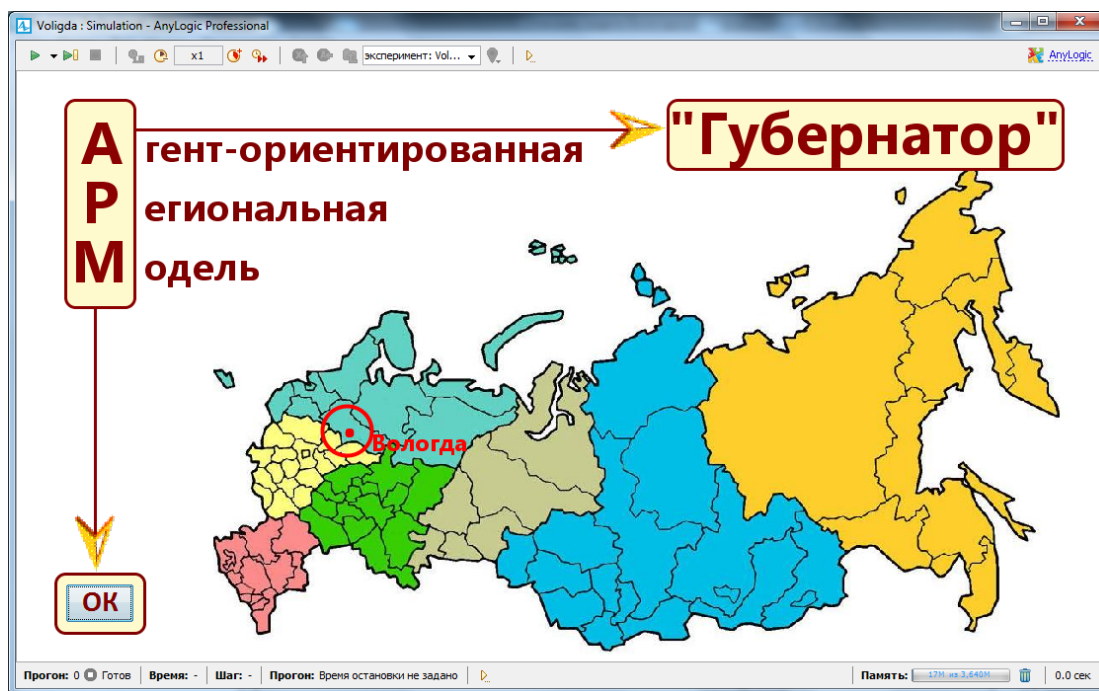


Рисунок 3. Рабочее окно агент-ориентированной региональной модели «Губернатор»

- 16 1. Комплексная АВМ, построенная с использованием геоинформационных технологий и имитирующая социально-экономические системы нескольких стран Европейского союза (рис. 4). В модели рассматриваются агенты

различного уровня (люди, отрасли, страны), что позволяет оценивать возникающие в процессе компьютерных симуляций эффекты во многих сферах социально-экономических систем соответствующих государств. Агенты нижнего уровня определяются широким набором параметров (помимо половозрастных характеристик учитывается уровень образования, здоровья, квалификации, жизненные приоритеты и др.), что в свою очередь дает возможность оценивать демографические изменения в Европейском союзе с учетом важных факторов, таких как внутренние установки людей, влияющие на их стратегию репродуктивного поведения, а также миграционный приток извне. Данная модель разработана в рамках исследования, осуществляемого совместно с Международным институтом прикладного системного анализа (International Institute for Applied System Analysis) [6, 14].

17

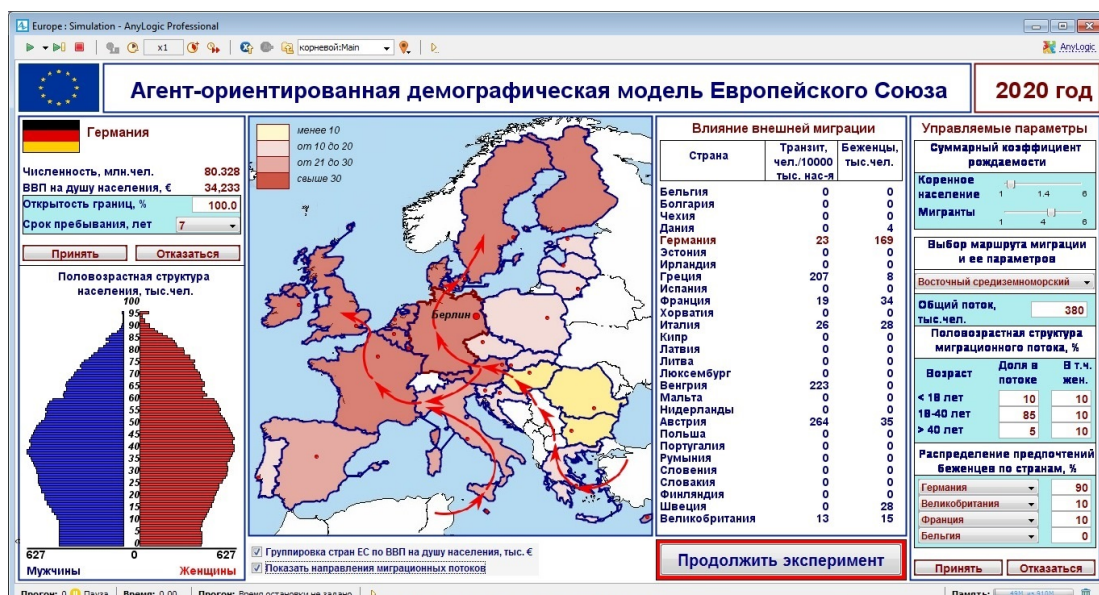


Рисунок 4. Рабочее окно агент-ориентированной модели Европейского союза с обозначением внешних миграционных потоков

- 18 1. АВМ, имитирующая организации различного вида, отличающиеся по набору характеристик, одной из которых является тип корпоративной культуры. Модель позволяет рассчитать последствия слияний рассматриваемых организаций с позиции уровня удовлетворенности их сотрудников и возможных действий по смене работы [3].
2. АВМ поведения человека (включая девиантное/противоправное) в зависимости от структуры его личности и условий внешней среды, учитывающая различные жизненные цели человека, их значимость, а также критерии оценки достижения поставленных целей. Позволяет получать оценки изменения уровня недовольства населения и отдельных его групп с учетом их пространственного размещения. Эта модель разрабатывалась в рамках Программы фундаментальных научных исследований Президиума РАН «Фундаментальные исследования по проблеме экономической безопасности», реализуемой совместно с Институтом законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве РФ и Федеральной службой по финансовому мониторингу [18].

3. АВМ, воспроизводящая процесс трудовой миграции из Китая в Россию и рассматривающая большой набор программных классов (агенты-люди, предприятия, отрасли и регионы), широкий перечень их параметров и, самое главное, – каналы распространения информации между агентами нижнего уровня, использующими родственные связи и сеть знакомых для получения сведений относительно условий проживания и работы в России (рис. 5). В модели учтены как объективные факторы миграции – заработная плата, наличие рабочих мест и т.д., так и побуждающие к миграции субъективные установки, влияющие на конечное решение и основывающиеся на личностных характеристиках агентов [13].

19

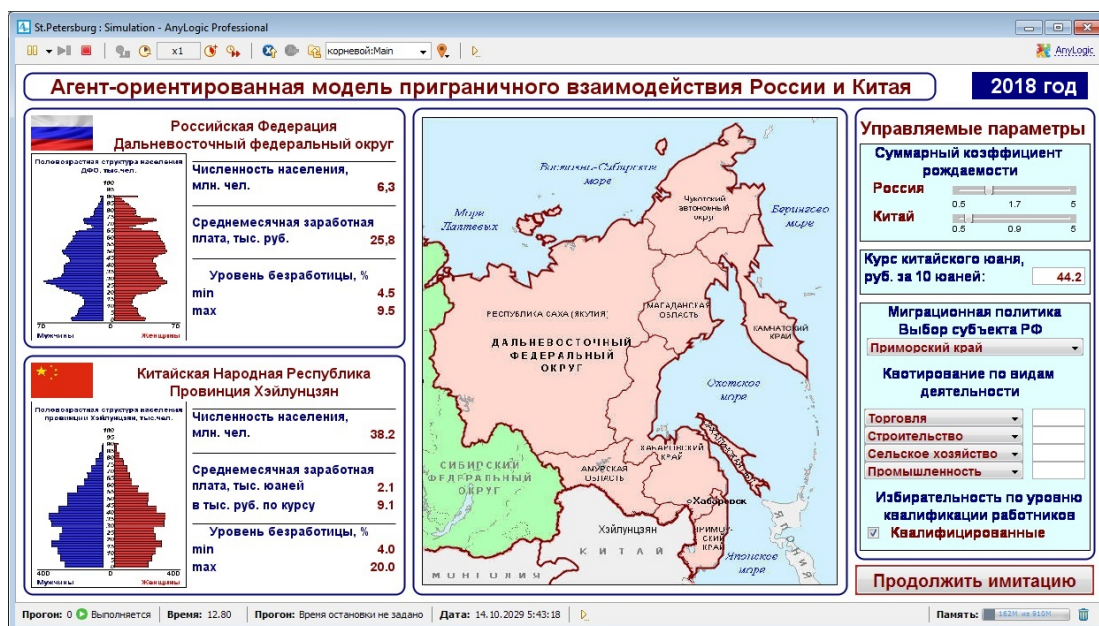


Рисунок 5. Рабочее окно агент-ориентированной модели трудовой миграции из Китая в Россию

- 20 1. АВМ для прогнозирования эпидемиологической динамики, в которой в явном виде учитываются: а) особенности протекания конкретного инфекционного заболевания, вызвавшего эпидемию; б) неоднородность населения региона с точки зрения его восприимчивости к инфекции; и в) социальные связи отдельных людей, существенно влияющие на частоту контактов и как следствие – на вероятность передачи инфекции. Особенностью конструкции данной модели, отличающей ее от других известных АВМ эпидемий, является использование механизма формирования семей, что делает имитацию контактов на уровне отдельного агента максимально приближенной к реальности. Модель апробирована на примере эпидемии COVID-19 в г. Москве, но используемые в модели социально-демографическая структура населения и эпидемиологические характеристики конкретной инфекции являются параметрами модели, что делает ее достаточно универсальной и позволяет производить ее настройку на особенности других инфекций и других регионов [17].

методологические принципы построения сложных программно-аналитических комплексов, сочетающих в себе различные подходы к моделированию социально-экономических процессов. Эволюционным путем мы разработали модельный комплекс «МЁБИУС»¹, который вобрал в себя преимущества рассмотренных подходов и состоит из нескольких блоков (рис. 6).

22

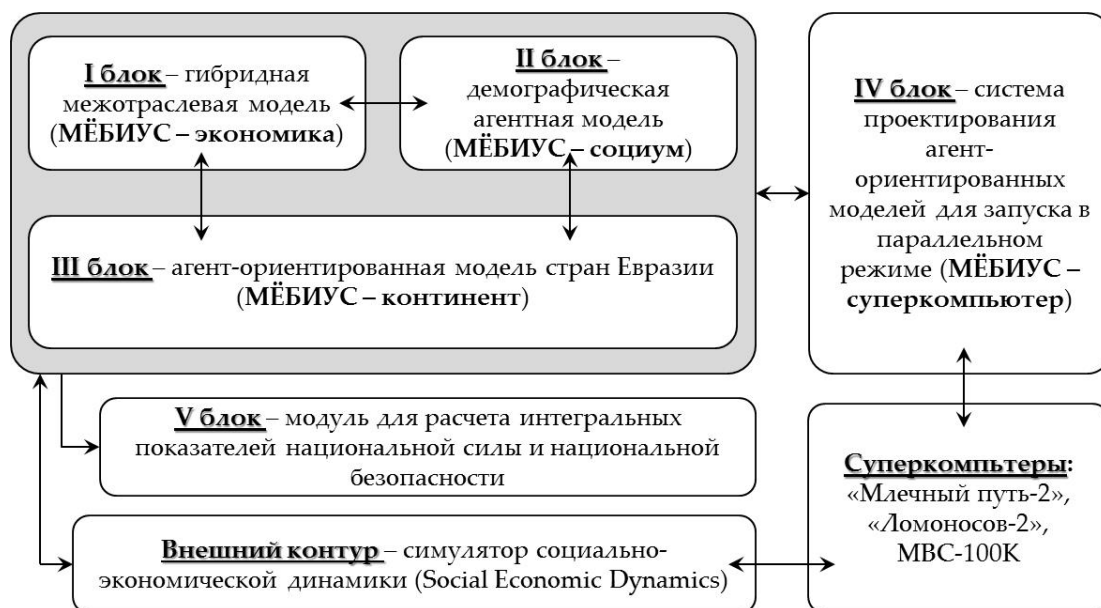


Рисунок 6. Схема программно-аналитического комплекса «МЁБИУС»

23 Все блоки комплекса «МЁБИУС», хотя и были изначально разработаны отдельно, тесно связаны друг с другом и представляют собой единое целое. Демографическая АВМ является базовым элементом для АВМ Евразийского континента, а также определяет динамику численности домашних хозяйств для межотраслевой модели «МЁБИУС – экономика», которая, в свою очередь, также связана с АВМ стран Евразии. Для ускорения расчетов к этим инструментам может быть подключена система «МЁБИУС – суперкомпьютер», которая в автоматическом режиме перераспределяет исполняемый программный код по задаваемому числу процессоров для выполнения в параллельном режиме².

24 Отдельным блоком выступает модуль для расчета интегральных показателей национальной силы и национальной безопасности для 193 стран – членов ООН. Веса выбранных факторов (их несколько десятков) были рассчитаны с использованием методов многомерного статистического анализа.

25 Помимо разработанных в ЦЭМИ РАН блоков программно-аналитического комплекса, совместно с IT компанией Guangzhou Milestone Software Co., Ltd, национальным суперкомпьютерным центром КНР и специалистами академии общественных наук Китая был разработан симулятор социально-экономической динамики для более 100 стран мира. Этот инструмент может использоваться в составе «МЁБИУСа» следующим образом – симулятор является внешним для него контуром, и таким образом получаемые с его помощью данные являются входными для первых трех блоков комплекса, равно как и наоборот. Выше уже говорилось, что разработка такого рода систем весьма затратная задача, поэтому практическая реализация описываемого комплекса стала возможной за счет

коллаборации ЦЭМИ РАН с упомянутыми выше организациями. Рассмотрим более подробно отдельные его составляющие.

²⁶ **I блок** – гибридная межотраслевая модель («МЁБИУС – экономика»), содержащая в себе большой набор макропоказателей социально-экономической системы России, финансовый блок, регулирующий орган, технологические коэффициенты и многое другое.

²⁷ С использованием блока «МЁБИУС – экономика» можно получить количественные оценки от ряда воздействий на социально-экономическую систему, к примеру, от изменений: основных налоговых ставок (НДС, налога на прибыль предприятий и организаций, налога на доходы физических лиц, страховых взносов на обязательное социальное страхование, акцизов, ввозных пошлин и др.); долей бюджетов отраслей экономики, идущих на покупку промежуточной продукции 19 внутренних отраслей и на внешних рынках; долей выпусков отраслей экономики, идущих на внутренние и внешние рынки промежуточной и конечной продукции; долей бюджетов домашних хозяйств, идущих на покупку конечной продукции 19 внутренних отраслей и на внешних рынках; долей консолидированного бюджета, идущих на субсидирование отраслей и на социальные трансферты, объема денежной массы (наличной и безналичной), ключевой ставки, средневзвешенных процентных ставок по кредитам и депозитам. Помимо этого, среди экзогенных переменных моделей – цены на нефть, газ и уголь, а также курс доллара.

²⁸ В модели более 1000 переменных (экзогенных и эндогенных), и в связи с ограничением объема статьи здесь мы приведем только концептуальное описание модели, перечислив ее ключевые модули. Кроме того, модель построена по аналогии с разработанными ранее моделями, описываемыми нами в серии монографий, поэтому используемые для расчетов формулы не сильно отличаются от предыдущих, и в этой связи мы ограничимся соответствующими ссылками [1, 9].

²⁹ «МЁБИУС – экономика» - динамическая рекурсивная модель с прямыми и обратными связями. Изменение любого из управляющих параметров вызывает дисбаланс во всей социально-экономической системе (рис. 7), который затухает по мере достижения равновесия на рассматриваемых в модели рынках (рис. 8).

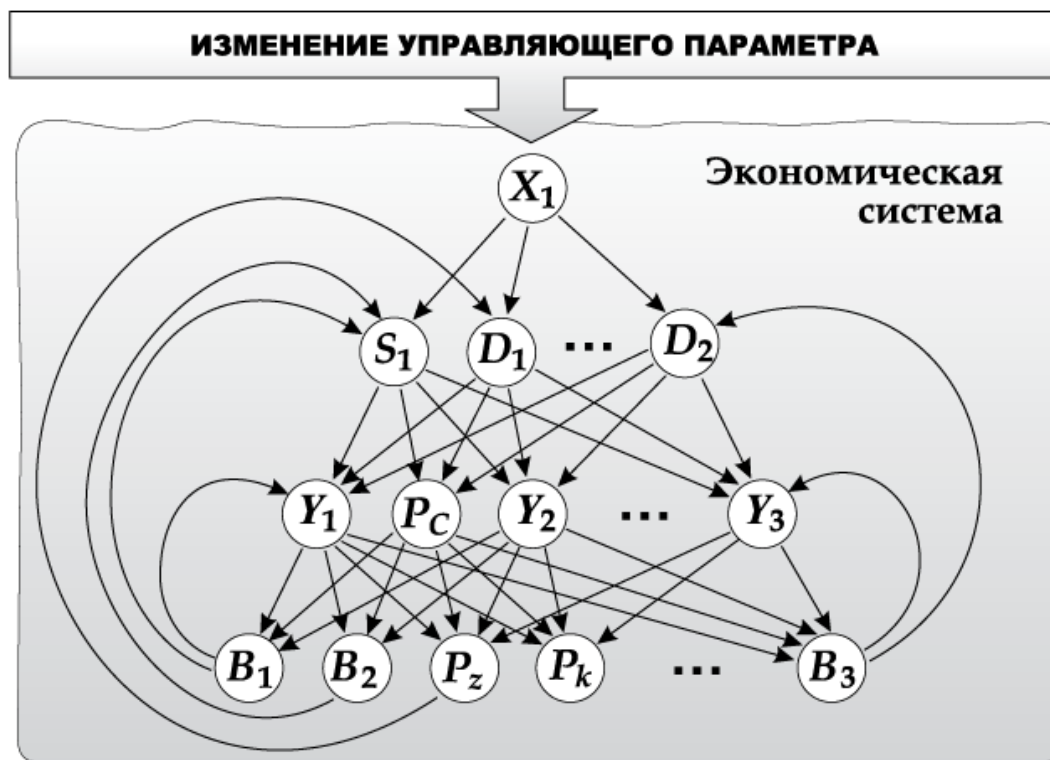


Рисунок 7. Концептуальный взгляд на схему прямых и обратных связей в блоке «МЁБИУС – экономика»

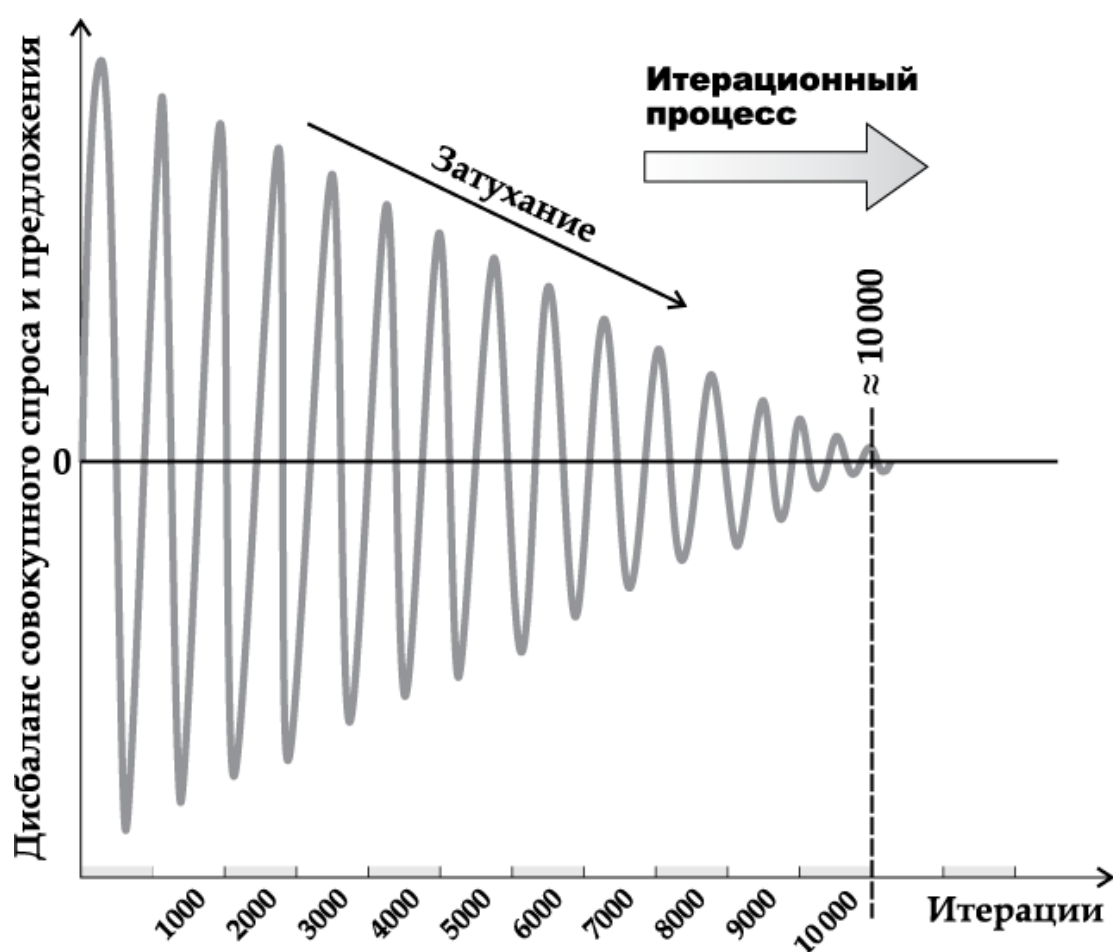


Рисунок 8. Процесс балансировки спроса и предложения на рынках модели

32 Далее рассмотрим программные модули более подробно.

33 **Модули 1-20: отрасли экономики** Каждый из этих модулей представляет собой отрасль – вид экономической деятельности в разрезе ОКВЭД:

- 34 1. Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство;
2. Добыча полезных ископаемых;
3. Обрабатывающие производства;
4. Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха;
5. Водоснабжение, водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений;
6. Строительство;
7. Торговля оптовая и розничная; ремонт автотранспортных средств и мотоциклов;
8. Транспортировка и хранение;
9. Деятельность гостиниц и предприятий общественного питания;
10. Деятельность в области информации и связи;
11. Деятельность финансовая и страховая;
12. Деятельность по операциям с недвижимым имуществом;
13. Деятельность профессиональная, научная и техническая;
14. Деятельность административная и сопутствующие дополнительные услуги;
15. Государственное управление и обеспечение военной безопасности; социальное страхование;
16. Образование;
17. Деятельность в области здравоохранения и социальных услуг;
18. Деятельность в области культуры, спорта, организации досуга и развлечений;
19. Предоставление прочих видов услуг;
20. Деятельность домашних хозяйств как работодателей; недифференцированная деятельность частных домашних хозяйств по производству товаров и оказанию услуг для собственного потребления.

35 Выпуск товаров и услуг модулей № № 1-19 задается степенной производственной функцией следующего вида:

36

$$Y_{it} = A_i^r \cdot K_{it}^k \cdot L_{it}^l \cdot \prod_{j=1}^m P_{jt}^{A_j^p} \cdot e^{\alpha_i \cdot \frac{\sum_{\delta=1}^t Z_{i\delta}}{t} + \beta_i \cdot \frac{\sum_{\delta=1}^t R_{i\delta}}{t} + \gamma_i \cdot \frac{\sum_{\delta=1}^t N_{i\delta}}{t}}$$

37 где i, j – номер отраслей; K – основные фонды, L – труд (затраты на рабочую силу) и P – промежуточное потребление; Z, R и N – потребленные соответствующими секторами результаты НИОКР, образовательные услуги и инновационная продукция; $A_i^r, A_i^k, A_i^l, A_i^p, \alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ – соответствующие коэффициенты производственной функции, рассчитанные в соответствии со

вкладом фактора в выпуск. Эта зависимость является, с одной стороны, модификацией функции лауреата Нобелевской премии по экономике П. Ромера [6], а с другой – она включает в себя промежуточное потребление продукции 19 видов экономической деятельности, коэффициенты при которых пропорциональны значениям технологической матрицы прямых затрат.

³⁸ Совокупный выпуск отрасли распределяется по нескольким направлениям: на 19 внутренних рынков товаров и услуг, часть идет на экспорт и на 19 внутренних рынков конечной продукции. Выручка от реализованной продукции, вместе с субсидиями и средствами на банковских счетах образуют бюджет соответствующей отрасли, который расходуется на покупку факторов производства (рабочую силу, основные фонды, промежуточное потребление, НИОКР, образовательные услуги и инновационную продукцию), уплату налогов и сбережения.

³⁹ *Основные переменные:* доли бюджетов, идущие на покупку промежуточной продукции 19 отраслей на внутренних рынках и импортных товаров на внешних рынках; доли бюджетов, идущие на уплату налогов, наем рабочей силы, инвестиции в основные фонды; доли выпусков, идущие на внутренние и внешние рынки промежуточной и конечной продукции; параметры производственных функций; показатели спроса и предложения товаров и услуг на внутренних и внешних рынках и др.

⁴⁰ *Основные действия:* 1) производство товаров и услуг; 2) реализация товаров и услуг на внутренних и внешних рынках; 3) покупка факторов производства; 4) наем рабочей силы; 5) уплата налогов и др.

⁴¹ **Модуль 21: домашние хозяйства** *Основные переменные:* доли бюджетов, идущие на покупку конечной продукции 19 отраслей на внутренних рынках и импортных товаров на внешних рынках; доли бюджетов, идущие на уплату налогов и сбережения, доходы домашних хозяйств и др.

⁴² *Основные действия:* 1) покупка конечных товаров; 2) уплата налогов; 3) участие в формировании предложения на рынке труда; 4) сбережение денежных средств (наличных и безналичных) и др.

⁴³ **Модуль 22: регулирующий орган** *Основные переменные:* доходы (нефтегазовые и ненефтегазовые) и расходы консолидированного бюджета и государственных внебюджетных фондов, основные налоги, субсидии отраслям, социальные трансферты и др.

⁴⁴ *Основные действия:* 1) определение долей бюджета, идущих на субсидирование отраслей; 2) установление ставок основных налогов; 3) определение размера социальных трансфертов и др.

⁴⁵ **Модуль 23: финансовый блок** *Основные переменные:* объем денежной массы (наличной и безналичной), ключевая ставка, средневзвешенные процентные ставки по кредитам и депозитам и др. *Основные действия:* 1) осуществление денежной эмиссии; 2) проведение денежно-кредитной политики (включая определение процентной ставки и валютный курс) и др.

⁴⁶ **Модуль 24: рынки** В модели 19 рынков промежуточной продукции, 19 рынков конечной продукции, 19 рынков рабочей силы и 19 внешних рынков (цены на внешних рынках и спрос на соответствующую продукцию задаются экзогенно). Таким образом, общее число рынков в модели – 76.

⁴⁷ **Модуль 25: интегральные показатели** В этом модуле собирается информация со всех остальных частей модели и преобразуется в интегральные показатели, являющиеся основными для отслеживания и фиксации произошедших изменений. К таким показателям относятся ВВП, валовый выпуск (совокупный и по видам экономической деятельности), количество людей, занятых в экономике, индекс потребительских цен, консолидированный бюджет, доходы домашних хозяйств и др.

⁴⁸ **II блок** – демографическая агентная модель (МЁБИУС – социум), рассматривающая население России и предназначенная для прогноза изменения его возрастно-половой структуры с учетом его пространственного размещения по субъектам страны.

⁴⁹ Базовым блоком для любых АВМ, имитирующих социально-экономические системы, является блок, в котором воспроизводится естественное движение населения (смертность и рождаемость) и его миграция. Действия на каждом шаге компьютерной симуляции делятся на несколько этапов имитации демографических процессов (смерть некоторых агентов, появление новых, рассылка сообщений, сбор статистики и т.д.).

⁵⁰ Смертность имитируется с использованием данных о возрастно-половой структуре умерших, а «рождение» детей и миграция – на основе индивидуального предпочтения агентов, зависящего как от их внутреннего состояния, так и от внешней среды. Выбор партнера, создание семьи и создание нового агента-человека определяются репродуктивной стратегией, а мотив к миграции зависит от разницы в уровне среднедушевых доходов между регионами убытия и прибытия, наличием привлекательных рабочих мест и социальными связями агента, влияющими на его уровень информированности. Общая схема работы демографической модели России, учитывающей наличие групп (типов) агентов, придерживающихся разных репродуктивных стратегий, представлена на рисунке 9.

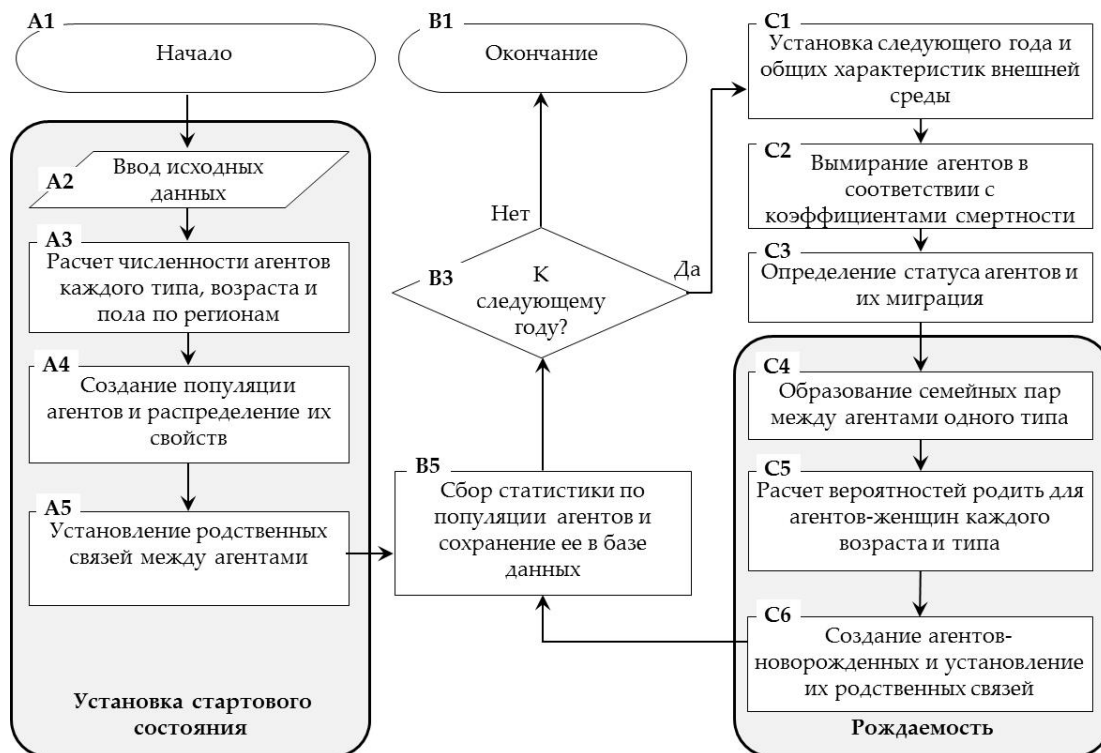


Рисунок 9. Общая схема работы демографической модели России

Оценка адекватности построенной модели, т.е. сравнение выдаваемых ею результатов на период, по которому имеются данные официальной статистики, показала расхождение с фактическими значениями в пределах 1%. Более подробно про построенную модель можно прочитать в ряде публикаций [15, 21, 23].

III блок – агент-ориентированная модель стран Евразии (МЁБИУС – континент), как уже упоминалось выше, изначально разрабатывалась для стран Европейского союза совместно с Международным институтом прикладного системного анализа (Австрия), но затем, в 2016-2018 гг. в рамках проекта Российского научного фонда была расширена до Евразийского континента. Помимо агентов – людей, реализованных аналогично инструменту из II блока, в этой модели существенной составляющей является базовый программный модуль, имитирующий для агентов сложную иерархическую среду, на нижнем уровне которой находится отрасль, на среднем – место жительства агента, связанного со страной проживания, а на верхнем уровне – международный союз, в который входит страна [14].

В зависимости от страны значения средовых параметров сильно разнятся, что мотивирует агентов к реализации различных действий, которые, в свою очередь, влияют на результаты экономической деятельности, демографическую ситуацию, стабильность и безопасность, таким образом меняя внешнюю среду. Архитектура АВМ Евразии включает в себя набор программных классов (стран, людей, международных союзов, населенных пунктов, отраслей, инфраструктурных проектов, транспортных узлов), каждый из которых представлен большим (несколько десятков) набором характеристик. Модель настроена на имитацию последствий реализации крупных инфраструктурных проектов [16].

Главный программный класс модели обеспечивает управление ею на самом верхнем уровне, обеспечивая следующий функционал: получение исходной информации из базы данных, установку начального состояния, инициализацию агентов всех типов, отображение пользовательского интерфейса и активных элементов модели, организацию последовательности действий в процессе симуляции. Концептуальная схема работы АВМ Евразийского континента приведена на рисунке 10.

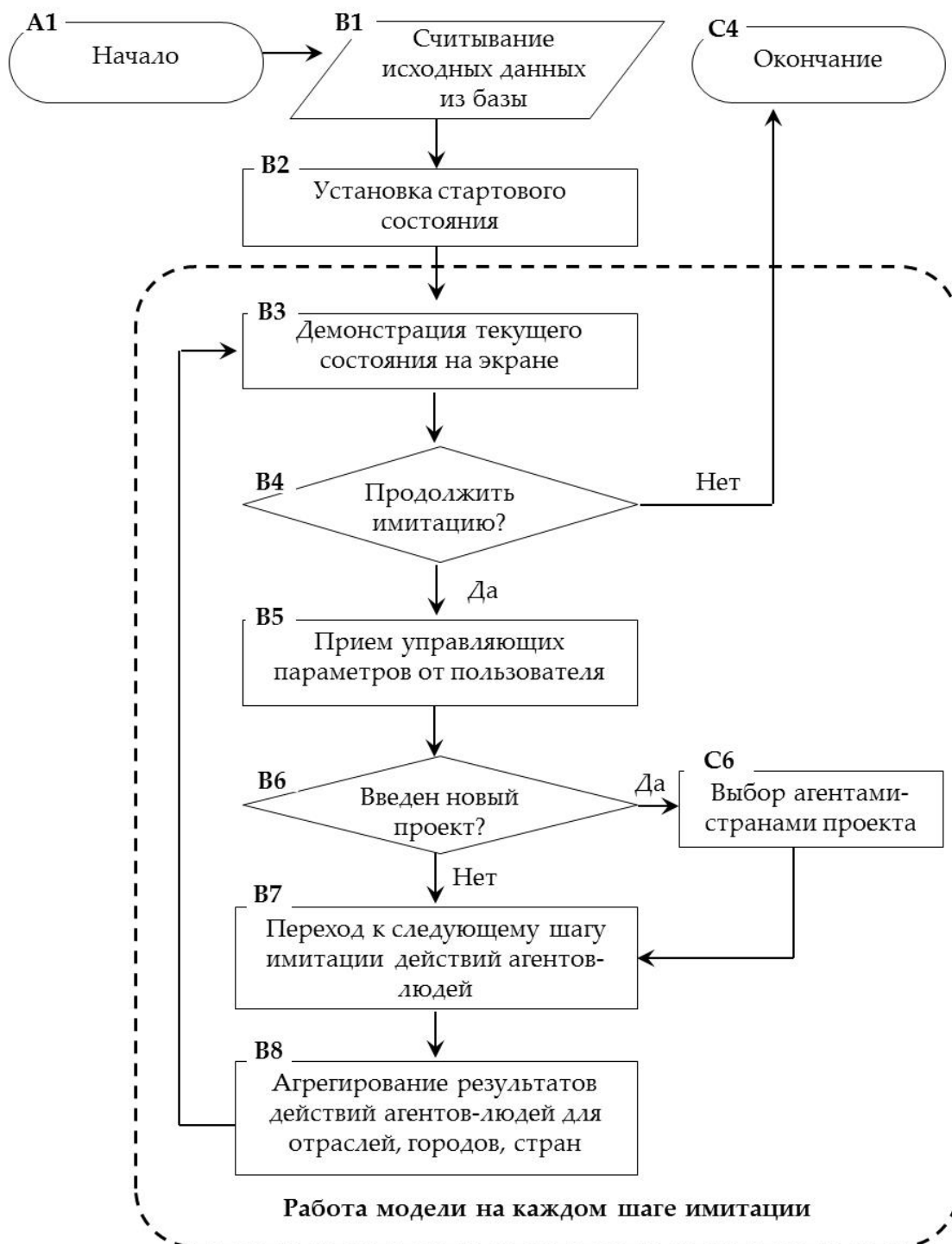


Рисунок 10. Общая схема работы АВМ Евразийского континента

IV блок – система проектирования агент-ориентированных моделей для запуска в параллельном режиме («МЁБИУС – суперкомпьютер»). Подробная детализация агентных моделей, влекущая за собой большой объем выполняемого

программного кода и используемых данных делает необходимым применение суперкомпьютеров для ускорения соответствующих расчетов.

⁵⁸ За несколько лет мы накопили определенный опыт в этом направлении. Так, совместно со специалистами МГУ (группа под руководством д.ф.-м.н. В.А. Васенина) была разработана технология поддержки агент-ориентированного моделирования для суперкомпьютеров – STARS (Supercomputer Technology for Agent-oriented Simulation). Данная технология предусматривала полуавтоматическую конвертацию программного кода, написанного на языке высокого уровня (Java) в код C++ для последующего выполнения на суперкомпьютерах. Полностью автоматической ее сделать не удалось, поскольку для разных моделей стратегия распараллеливания была своя. Описание разработки и обзор зарубежных аналогов приведен в соответствующих публикациях [19, 20]. Основываясь на полученном опыте, мы, совместно со специалистами компании Яндекс (к.ф.-м.н. Г.Б. Сушко), разработали новую технологию создания больших АВМ для запуска на суперкомпьютерах, основанную на использовании графовой декомпозиции с учетом связей агентов. Данная технология была реализована при запуске крупномасштабной агент-ориентированной модели социальной системы России, которая тестировалась на нескольких суперкомпьютерах: «Ломоносов» (МГУ им. М.В. Ломоносова) и «Млечный путь-2» (Гуанчжоу, Китай). Эта работа была отмечена в качестве одного из важнейших результатов деятельности Российской академии наук [21, 22]. На данную программу получено свидетельство о регистрации [24].

⁵⁹ И, наконец, последней нашей разработкой является система проектирования агент-ориентированных моделей для запуска в параллельном режиме – «МЁБИУС-суперкомпьютер», также разработанная совместно со специалистами компании Яндекс (к.ф.-м.н. Г.Б. Сушко), которая позволяет создавать АВМ с численностью популяций до 10^9 агентов, эффективно масштабируемые при запуске на суперкомпьютерах. Система «МЁБИУС-суперкомпьютер» поддерживает также динамическое изменение численности и пространственного распределения агентов за счет имитации процессов исчезновения агентов и появления новых. Конструкция апробирована при реализации крупномасштабной демографической АВМ России, в которой имитируются процессы естественного движения населения страны в разрезе регионов. Агентами в модели являются люди, которые обмениваются сообщениями, поддерживают родственные связи, рожают детей, стареют и умирают.

⁶⁰ Далее будут показаны результаты апробации АВМ России на реальных статистических данных. В ходе исследования были получены прогнозы основных демографических показателей как для России в целом, так и для всех регионов при различных сценариях изменения суммарного коэффициента рождаемости и показана дифференциация регионов по ожидаемой динамике численности населения и его возрастной структуры. Также было оценено влияние отдельных социально-экономических факторов на динамику суммарного коэффициента рождаемости. Система «МЁБИУС-суперкомпьютер» имеет следующие отличительные особенности:

⁶¹ 1. Она организована не как библиотека (подобно таким системам проектирования АВМ как RepastHPC [33] или POLARIS [31]), а как базовый блок, для которого реализованы все основные функции, связанные с балансировкой нагрузки, синхронизацией, автоматическим распределением исполняемого кода и др. Его ядро содержит также механизмы, обеспечивающие добавление новых блоков по мере их разработки. 2. Архитектура системы двухуровневая – все модули, обеспечивающие автоматическое распараллеливание, обмен сообщениями, балансировку нагрузки и синхронизацию реализованы в виде низкоуровневых библиотек, написанных на C++, а модули, имитирующие социально-экономические процессы, могут быть реализованы на языке высокого уровня C#. Такой подход аналогичен концепции системы проектирования АВМ – Care HPS [32]. 3. Система поддерживает привязку агентов к месту жительства на территории моделируемого региона (страны), осуществляемую автоматически в соответствии с исходными данными о численности агентов и их распределении по отдельным территориям, а также информацией, получаемой из карты региона (страны). На основе этих данных строится сетка, ячейки которой соответствуют определенному сегменту карты. И, наконец, самая важная процедура – распределение ячеек (или декомпозиция сетки) по процессорам с минимальным количеством связи между ними осуществляется с использованием графового алгоритма METIS [34]. 4. Система поддерживает социальные связи агентов, реализуемые посредством взаимного обмена сообщениями, а также удаление и появление новых агентов в процесс симуляции. Отметим, что в системе «МЁБИУС-суперкомпьютер» предусмотрен механизм разделения имитации процессов в пределах одного шага работы модели на отдельные смысловые этапы (и, возможно, на различные стадии этапов), выполняемые последовательно. 5. Результаты работы модели сохраняются во внешних файлах формата .csv и могут использоваться для последующей статистической обработки и визуализации.

⁶² На данную программу также было получено свидетельство о регистрации [2].

⁶³ В качестве ядра большой региональной АВМ в системе проектирования «МЁБИУС-суперкомпьютер» был разработан базовый демографический блок, в котором имитируются процессы естественного движения населения – смертность и рождаемость. Агентами в нем являются люди, которые поддерживают родственные связи, принимают решение о рождении детей, стареют и в зависимости от совокупности влияющих факторов умирают.

⁶⁴ Каждый модельный шаг поделен на несколько стадий, относящихся к объектам одного из трех типов (агент, регион, страна), в рамках которых реализуются отдельные этапы демографических процессов. Ниже на рисунке 11 представлена обобщенная схема организации работы масштабируемой демографической АВМ. Переход к следующей стадии возможен только после завершения обработки всех объектов того типа, к которому она относится, поэтому после окончания каждой стадии должна происходить синхронизация, что показано на схеме соответствующими точками синхронизации $S_0, \dots, S_{11}$. Здесь же происходит проверка очереди сообщений, и в случае если она не пуста, то сообщения будут посланы адресатам. Стадии, входящие в один тематический блок

(имитация смертности, рождаемости), объединены на схеме затемненными прямоугольниками. Видно, насколько сложной является имитация вымирания агентов. Дело в том, что каждый из них обладает уникальным номером (адресом), который используется в модели для пересылки сообщений и имитации взаимодействий агентов, помнящих адреса своих родственников. Поэтому для того, чтобы удалить агента, которому выпала «черная метка» (она выпадает с вероятностью, заданной дифференцированными по полу и возрасту коэффициентами смертности), необходимо предварительно удалить все его связи. А затем еще необходимо сдвинуть нумерацию оставшихся (выживших) агентов внутри ячеек, после чего разослать эти новые адреса всем родственникам для поддержания связи с ними.

⁶⁵ Разработанный базовый блок был апробирован на примере демографической АВМ России с использованием реальных данных по стране в целом и в разрезе регионов. Общие параметры модели: адреса файлов исходных данных, включая карту России с выделением ее регионов; численность популяции агентов; число выделенных для работы модели процессоров; число шагов имитации (лет прогнозного периода).

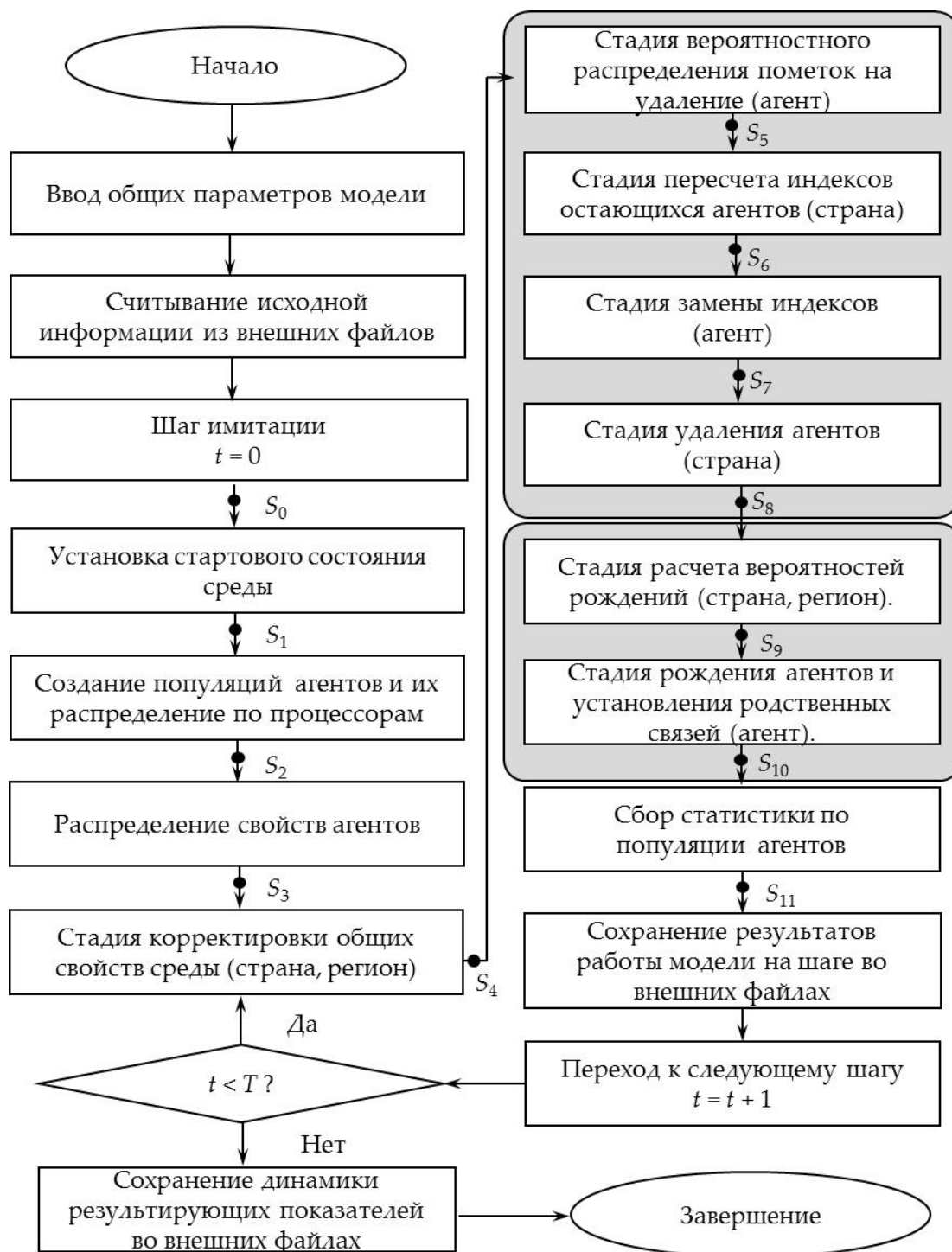


Рисунок 11. Обобщенная схема организации работы масштабируемой демографической АВМ. Крупными точками $S_0, \dots, S_{11}$ обозначены точки синхронизации, а T – заданное число шагов имитации.

67 Для наполнения модели информацией были использованы данные Росстата [29]:

- 68 • Для всей страны: распределение населения по полу и возрасту; дифференцированные по полу и возрасту коэффициенты смертности; возраст выхода на пенсию для мужчин и женщин по годам переходного периода, соответствующего пенсионной реформе 2018 года.
- Для отдельных регионов: численность населения; распределение населения по основным возрастным группам (доля населения моложе

трудоспособного возраста, трудоспособного и старше трудоспособного возраста); суммарный коэффициент рождаемости; индекс суммарного коэффициента рождаемости; распределение рождений по возрасту матерей в пределах репродуктивного возраста.

⁶⁹ Построенная модель продемонстрировала высокое качество воссоздания на популяции агентов возрастно-половой структуры населения как по стране в целом, так и в разрезе регионов. Тестирование по этому параметру, характеризующему адекватность модели, было принципиально важно, так как модель разрабатывается в качестве полигона для постановки социально-экономических экспериментов и оценки их последствий. Поэтому необходимо было убедиться в правомерности перенесения выводов, полученных на основе компьютерных экспериментов, на реальное моделируемое общество.

⁷⁰ Ключевым показателем, используемым в представленной модели для имитации появления новых агентов, является суммарный коэффициент рождаемости (СКР) – число детей, рождаемых в среднем женщиной в течение репродуктивного периода. Кроме того, используется распределение рождений по возрасту матери. На основе этих данных рассчитываются вероятности рождений для агентов-женщин разного возраста в каждом регионе. В 2018 году СКР в среднем по России равнялся 1,579, а разброс значений этого показателя по регионам находился в интервале от 1,124 до 2,967. И это при высокой чувствительности прогнозируемой численности населения к изменению данного показателя, тем более при прогнозировании на длительный период. Кроме того, темпы изменения данного показателя, как свидетельствуют статистические данные, также существенно разнятся между регионами. Так, среднее геометрическое значение индекса СКР за последние пять лет по России в целом составило 0,985 (что свидетельствует о снижении СКР), а разброс значений среднего индекса СКР составил от 0,957 до 1,015 (небольшой рост).

⁷¹ В Послании Президента к Федеральному Собранию от 15 января текущего года в качестве целевого показателя указывается достижение к 2023 году значения СКР по России в целом на уровне 1,7. Отметим, что такой уровень не может обеспечить даже простого воспроизводства населения (для этого необходим СКР, превышающий 2), хотя и может замедлить негативные процессы депопуляции (уменьшения общей численности населения) и старения населения (увеличения доли возрастных когорт старше 65 лет в общей численности населения). Оставляя в стороне вопрос о том, удастся ли достичь этого целевого показателя, мы промоделировали, как будут выглядеть основные демографические показатели как по России в целом, так и для отдельных регионов при реализации различных сценариев изменения СКР. С использованием представленной демографической АВМ России были получены прогнозы демографических показателей до 2038 года при следующих сценариях, в которых показатели смертности считались постоянными на уровне 2018 года, а варьировались только значения СКР:

⁷² Вариант 1: СКР считался постоянным для каждого региона на уровне 2018 года.

73 Вариант 2: наблюдавшаяся за последние пять лет динамика СКР продолжалась на следующие пять лет (СКР региона умножался на соответствующий средний индекс его изменения), после чего СКР оставался постоянным.

74 Вариант 3: средний индекс изменения СКР считался по России в целом таким образом, чтобы к 2023 году СКР достиг значения 1,7. Далее полученное значение индекса использовалось для всех регионов в течение пяти лет, а затем СКР оставался постоянным.

75 Результаты моделирования представлены на рисунке 12 и в таблице 1. На рисунке 12 виден неуклонный рост (хотя и с разной скоростью) среднего возраста агентов в течение прогнозного периода при всех рассмотренных сценариях, что свидетельствует об ожидаемом старении населения в целом.

76

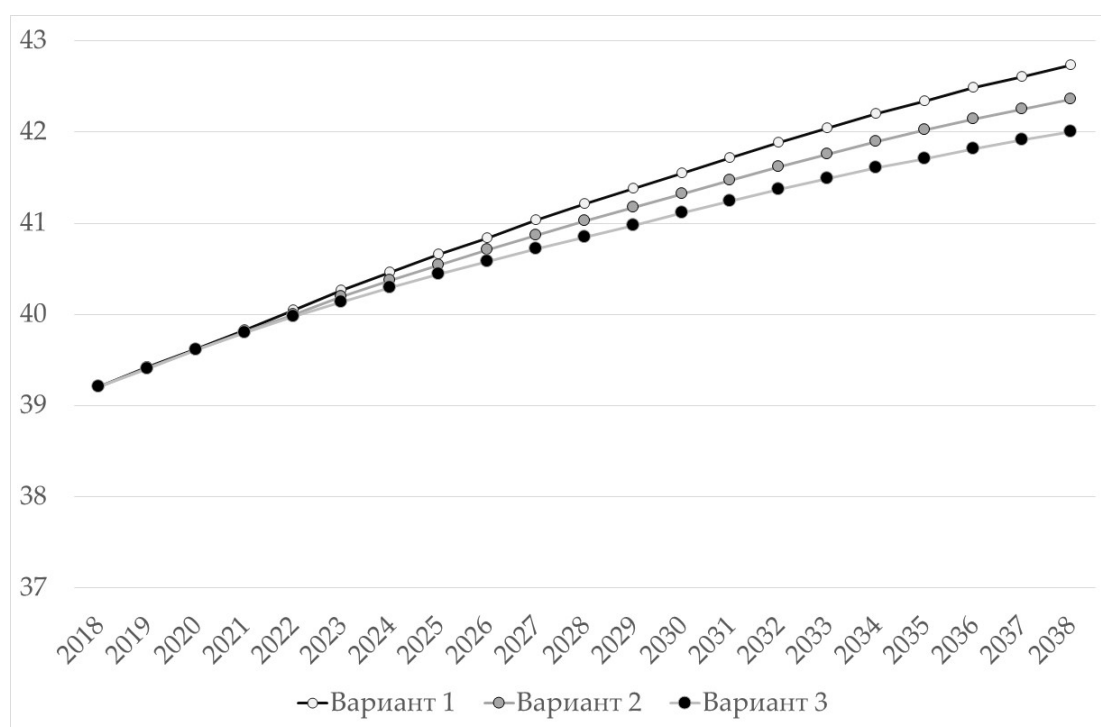


Рисунок 12. Сопоставление динамики среднего возраста агентов для различных вариантов прогноза, лет.

77 Таблица 1. Сопоставление ожидаемых основных показателей, характеризующих численность и возрастную структуру населения, а также их региональную дифференциацию при реализации различных сценариев.

Показатели	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Численность населения России, тыс. чел.	135283,3	133786,8	136674,9
Прирост численности населения к 2038 году по сравнению с 2018-м по России в целом, %	-7,9	-8,9	-6,9
Разброс по регионам, %: [min; max]	[-15,7; 15,1]	[-16,5; 15,3]	[-15,2; 15,4];
Доля населения моложе трудоспособного возраста по России в целом, %	16,5	15,7	17,3
Прирост доли населения моложе трудоспособного возраста по России в целом, %	-11,5	-15,8	-7,3
Разброс по регионам, %: [min; max]	[-37,6; -0,6]	[-43,1; 2,0]	[-37,3; 4,7]

78 Более детально результаты прогнозирования представлены в таблице 1, в которой показана дифференциация регионов по таким показателям, как численность населения и его возрастная структура, а также динамика этих показателей относительно базового 2018 года при реализации различных сценариев.

79 Данные таблицы 1, в первую очередь, свидетельствуют о большой дифференциации регионов с точки зрения благополучия/неблагополучия демографической ситуации. А с другой стороны, обращает на себя внимание последняя строчка в таблице – число регионов, в которых при всех сценариях стабильно наблюдается очень значительная убыль населения. То, что группа этих регионов увеличивается во втором варианте, закономерно. Это означает только, что в этих регионах не только низкий показатель СКР, но и наблюдается в последние годы тенденция к его снижению. Но эта группа почти не сокращается даже в третьем варианте, то есть, заложенная умеренная положительная динамика СКР не компенсирует убыль населения в этих регионах. Анализ показал, что 17 регионов, входящих в эту группу для первого и второго варианта прогноза, – это регионы Центрального Федерального округа, при том, что всего в этот округ входят 18 регионов. А при третьем варианте эксперимента только два из них эту группу покинули. То есть, для этих территорий наблюдается опережающее сокращение населения, даже без учета миграции, которая также в большинстве из них отрицательна (миграционный прирост наблюдается в Москве, Московской и Белгородской областях).

80 Обратимся к вопросу о том, какие факторы влияют на суммарный коэффициент рождаемости и его динамику. В содержательном плане очевидно, что желание или нежелание иметь детей, также, как и выбор времени их рождения, связаны как с внутренними установками людей, так и с внешними условиями, такими, как уровень жизни, обеспеченность жильем, уверенность в завтрашнем дне и т.д. Но для моделирования необходимы количественные оценки влияния подобных факторов, которые мы попытались выявить, проанализировав статистические данные. Так, были выявлены следующие статистически значимые зависимости между различными социально-экономическими показателями регионов в виде регрессионных моделей:

- 81 • На показатель «Прерывание беременности (аборты)» влияют показатели «Смертность в трудоспособном возрасте» и «Уровень безработицы» ($R^2=0,486$);
- На показатель «Средний индекс изменения СКР» влияют показатели «Среднедушевое потребление домашних хозяйств», «Ввод в действие жилых домов на 1000 человек населения», «Индекс снижения безработицы», «Индекс снижения смертности» ($R^2=0,467$).

82 Полученные оценки свидетельствуют о том, что при имитации демографических процессов необходимо также учитывать влияние каких-то других факторов на динамику рождаемости, но даже эти результаты задают

некоторые ориентиры, которые можно использовать при описании поведения людей и постановки компьютерных экспериментов.

⁸³ Первая зависимость может использоваться при моделировании влияния мер, направленных на снижение смертности, а также мер, направленных на развитие экономики и создание новых рабочих мест. Это могут быть меры, которые реализуются в рамках национальных проектов. А вторая оценка напрямую связана с планируемыми мерами поддержки семей с детьми, заявленных в Послании Президента, – с увеличением размера пособий и с расширением возможностей улучшения жилищных условий с помощью материнского капитала. Для подобного моделирования также можно использовать АВМ, но для этого потребуется расширить ее функционал и перейти от моделирования суммарного коэффициента рождаемости на уровне региона к имитации поведения отдельных семей. Что с технологической точки зрения вполне реализуемо на базе суперкомпьютера.

⁸⁴ Анализ эффективности распараллеливания модели проводился следующим образом: при постоянных значениях смертности и фертильности рассчитывались усредненные значения по множеству прогонов для разного числа используемых процессоров. В таблице 2 приведены результаты, полученные с использованием суперкомпьютера МВС-100К для двух и восьми миллионов агентов.

⁸⁵ Таблица 2. Оценка ускорения параллельных вычислений в зависимости от количества используемых процессоров на суперкомпьютере МВС-100К

Число процессоров	Время компьютерной симуляции для 2 млн. агентов, в секундах	Ускорение параллельных вычислений для 2 млн. агентов, в раз	Время компьютерной симуляции для 8 млн. агентов, в секундах	Ускорение параллельных вычислений для 8 млн. агентов, в раз
1	3,029	1,00	17,211	1,00
2	2,016	1,50	11,064	1,55
4	0,948	3,19	7,053	2,44
8	0,625	4,84	5,215	3,30
16	0,653	4,64	2,962	5,81
24	0,499	6,07	2,245	7,66
32	0,476	6,35	1,019	16,88
48	0,383	7,90	1,395	12,33

⁸⁶ Сравнивая полученную зависимость ускорения параллельных вычислений от количества используемых процессоров с кривыми, построенными в соответствии с законом Амдала [30], можно оценить эффективность алгоритмов, используемых для распараллеливания агентной модели. Так, сопоставление полученных результатов с теоретически достижимым уровнем ускорения показывает, что снижение эффективности сопоставимо со сценариями, при которых доля последовательных вычислений составляет 10% (для двух миллионов агентов) и 5% (для восьми миллионов агентов).

⁸⁷ Прогоны осуществлялись также на ресурсах МГУ им. М.В. Ломоносова (суперкомпьютер «Ломоносов-2») и национального суперкомпьютерного центра КНР (суперкомпьютер «Млечный путь-2») для проверки переносимости программного пакета. Абсолютное значение времени симуляции за счет более

новых процессоров в этих случаях было меньше, однако кривые ускорения остались такими же.

⁸⁸ **V блок** – модуль для расчета интегральных показателей национальной силы и национальной безопасности. С применением методов многомерного статистического анализа были рассчитаны веса факторов, влияющих на интегральные показатели национальной силы и национальной безопасности 193 стран – членов ООН.

⁸⁹ Первый из упомянутых показателей является наиболее информативным и популярным в мире индикатором, интегрально характеризующим совокупный потенциал конкретной страны и позволяющим одновременно сравнивать уровень ее мощи и социально-экономического развития с уровнем других стран [7]. Если национальная сила государства, по сути, определяет его потенциальные возможности, и для расчета используются преимущественно валовые показатели, то индикатор национальной безопасности (второй показатель) рассчитывается на основе нормированных величин (как правило, на душу населения) и свидетельствует об уровне развития той или иной составляющей социо-эколого-экономической системы страны, а также об эффективности использования имеющегося потенциала [8].

⁹⁰ Данный блок позволяет выявлять уязвимости, создающие угрозу национальной безопасности нашей страны, а также прогнозировать ее уровень на различные временные периоды. Рассчитанные веса факторов, влияющих на национальную силу и национальную безопасность, интегральные индексы последних для 193 стран, а также диапазоны допустимых значений для используемых в блоке показателей, нарушение которых влечет за собой повышенные риски для соответствующих государств, приведены в уже упомянутых выше публикациях [7, 8].

⁹¹ **Внешний контур** – симулятор социально-экономической динамики (Social Economic Dynamics, SED). Этот симулятор, охватывающий более 100 стран мира, хотя и настраивался с помощью сотрудников ЦЭМИ РАН в части спецификации агентов – участников социально-экономической системы России, но является разработкой коллег из Китая (IT-компания Guangzhou Milestone Software Co., Ltd, Национального суперкомпьютерного центра КНР, Академии общественных наук КНР).

⁹² В SED реализован функционал агентов различного типа: домашние хозяйства, предприятия и организации, относящиеся к различным отраслям, банки и прочие финансовые организации, правительственные органы всех уровней (рисунок 13). Симулятор также включает несколько модулей, обеспечивающих различный функционал: 1) контроль за социально-экономическими показателями; 2) мониторинг флуктуаций; 3) анализ экономического состояния; 4) прогноз экономического роста; 5) анализ экономической эффективности; 6) множественный эксперимент.

⁹³ Поскольку число агентов в симуляторе превышает 100 млн., то для технической реализации социума такого размера SED реализуется с использованием суперкомпьютера «Млечный путь-2», часть узлов которого

Примечания:

1. Название программно-аналитического комплекса связано с двумя обстоятельствами. Во-первых, лента Мёбиуса является главным символом ЦЭМИ РАН, а его горельеф украшает здание Института. Во-вторых, этот знак является физическим воплощением бесконечности, что соответствует масштабам вычислительных возможностей одного из модулей – «МЁБИУС-суперкомпьютер», способным технически реализовывать модели с численностью порядка 10⁹ агентов на самых производительных в мире системах (теоретически и на суперкомпьютерах экзафлопного уровня).
 2. Для нас доступны суперкомпьютеры «Млечный путь-2» (Национальный суперкомпьютерный центр КНР, г. Гуанчжоу), «Ломоносов-2» (МГУ им. М.В. Ломоносова), МВС-100К (Межведомственный суперкомпьютерный центр РАН)
-

Библиография:

1. Бахтизин А.Р. (2008): Агент-ориентированные модели экономики. М.: Экономика, 2008.
2. Бахтизин А.Р., Макаров В.Л., Сушко Е.Д., Сушко Г.Б. (2020): Система проектирования масштабируемых агент-ориентированных моделей, включающих популяции агентов разных типов с динамически изменяющейся численностью и сложными многоэтапными взаимодействиями агентов, образующих социальные сети // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2020612410, 20.02.2020. Заявка № 2020611366 от 06.02.2020.
3. Денисова С.В., Бахтизин А.Р. (2011): Моделирование процесса слияний организаций с помощью агент-ориентированной модели / «Проблемный анализ и государственно-управленческое проектирование», № 2, 2011.
4. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р. (2013): Социальное моделирование – новый компьютерный прорыв (агент-ориентированные модели). М.: Экономика, 2013. – 295 с.
5. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р. (2018): Модели принятия верных решений // Бюджет, № 10 (290) октябрь 2018, с. 92-96.
6. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бекларян Г.Л., Акопов А.С., Ровенская Е.А., Стрелковский Н.В. (2019): Укрупненная агент-ориентированная имитационная модель миграционных потоков стран Европейского Союза // Экономика и математические методы 2019. Т. 55. Номер 1 С. 3-15 [Электронный ресурс]. Доступ для зарегистрированных пользователей. URL: <https://emm.jes.su/S042473880004044-7-1> (дата обращения: 21.03.2019). DOI: 10.31857/S042473880004044-7.
7. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Ильин Н.И. (2020a): Моделирование и оценка национальной силы России // Экономические стратегии. 2020. № 2 (168). С. 6-19. DOI: 10.33917/es-2.168.2020.6-19.
8. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Ильин Н.И. (2020b): Национальная безопасность России // Экономические стратегии. 2020. № 5 (171). DOI: 10.33917/es-5.171.2020.6-23

9. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сулакшин С.С. (2007): Применение вычислимых моделей в государственном управлении / Научный эксперт, 2007.
10. Макаров В.Л. Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д. (2016): Управление деятельностью отрасли в агент-ориентированной модели на примере госкорпорации «Роскосмос» / Теория и практика институциональных преобразований в России / Сборник научных трудов под ред. Б.А. Ерзнкяна. Вып. 35. – М.: ЦЭМИ РАН, 2016, с. 20 – 29.
11. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д. (2017): Регулирование промышленных выбросов на основе агент-ориентированного подхода // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2017. – № 6. – с. 42-58. – DOI: 10.15838/esc.2017.6.54.3.
12. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д. (2020): Агент-ориентированная модель как инструмент регулирования экологии региона // Журнал Новой экономической ассоциации, № 1 (45), с. 151–171. DOI: 10.31737/2221-2264-2020-45-1-6.
13. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Агеева А.Ф. (2017a): Агент-ориентированный подход при моделировании трудовой миграции из Китая в Россию // Экономика региона. - 2017. - Т. 13, вып. 2. - с. 331-341.
14. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Агеева А.Ф. (2017b): Имитация социально-экономической системы Евразийского континента с помощью агент-ориентированных моделей // Прикладная эконометрика, № 4(48), 2017, с. 122-139.
15. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Агеева А.Ф. (2017c): Искусственное общество и реальные демографические процессы // Экономика и математические методы, 2017, 53 (1), 3-18.
16. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Агеева А.Ф. (2018): Агент-ориентированная модель Евразии и имитация реализации крупных инфраструктурных проектов // Экономика региона, 2018, №4, С. 1102 - 1116
17. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д. Агеева А.Ф. (2020): Моделирование эпидемии COVID-19 – преимущества агент-ориентированного подхода // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2020. Т. 13. No 4. С. 58-73. DOI: 10.15838/esc.2020.4.70.3
18. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Бурилина М.А. (2016): Отчет по программе фундаментальных научных исследований Президиума РАН «Финансово-правовые механизмы обеспечения прозрачности ведения бизнеса»: «Разработка математической модели для количественной оценки последствий незаконных финансовых операций на основные макроэкономические показатели»: Отчет. М.: ЦЭМИ РАН.
19. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Васенин В.А., Борисов В.А., Роганов В.А. (2016a): Агент-ориентированные модели: мировой опыт и технические

возможности реализации на суперкомпьютерах // Вестник Российской академии наук, 2016, том 86, № 3, с. 252 – 262.

20. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Васенин В.А., Борисов В.А., Роганов В.А. (2016b): Суперкомпьютерные технологии в общественных науках: агент-ориентированные демографические модели // Вестник Российской академии наук, 2016, том 86, № 5, с. 412 – 421.

21. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Сушко Г.Б. (2018a): Разработка агент-ориентированной демографической модели России и ее суперкомпьютерная реализация // Вычислительные методы и программирование, 2018, Том 19, №4, с. 368-378.

22. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Сушко Г.Б. (2018b) Моделирование социальных процессов на суперкомпьютерах: новые технологии // Вестник Российской академии наук, 2018, том 88, № 6, с. 508-518.

23. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Сушко Г.Б. (2019a): Агент-ориентированная суперкомпьютерная демографическая модель России: анализ апробации // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2019. Т. 12. № 6. С. 74-90. DOI: 10.15838/esc.2019.6.66.4.

24. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Сушко Г.Б. (2019b): Система проектирования агент-ориентированных моделей для запуска на суперкомпьютерах // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2019614589, 09.04.2019. Заявка № 2018665556 от 29.12.2018.

25. Макаров В.Л., Ву Ц., Ву З., Хабриев Б.Р., Бахтизин А.Р. (2019): Современные инструменты оценки последствий мировых торговых войн // Вестник Российской академии наук, 2019, том 89, № 7, с. 745-754.

26. Макаров В.Л., Ву Ц., Ву З., Хабриев Б.Р., Бахтизин А.Р. (2020): Мировые торговые войны: сценарные расчеты последствий // Вестник Российской академии наук, 2020, том 90, № 2, с. 169-179, DOI: 10.31857/S0869587320020097.

27. Макаров В.Л., Квинт В.Л., Шамахов В.А., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Бурилина М.А. (2018): Агент-ориентированные модели как инструмент апробации управленческих решений в системе распределенных ситуационных центров / Система распределенных ситуационных центров как основа цифровой трансформации государственного управления «СРСЦ-2017». Труды Всероссийского Форума, Санкт-Петербург, 25-27 октября 2017 г. / Научный совет по информатизации Санкт-Петербурга. – СПб., 2018. – 252 с., с 226-227.

28. Макаров В.Л., Сушко Е.Д., Бахтизин А.Р. Общее описание модели Вологодской области «Губернатор» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://abm.center/info/publications/420328> (дата обращения: 26.09.2020).

29. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2019: Стат. сб. / Росстат. - М., 2019. - 1204 с.

30. Amdahl G.M. “Validity of the Single Processor Approach to Achieving Large Scale Computing Capabilities”, in AFIPS’67 Proc. Spring Joint Computer Conference, Atlantic City, USA, April 18–20, 1967, AFIPS Press, Reston, Va., (1967), pp. 483–485.
31. Auld J., Hope M., Ley H., Sokolov V., Xua B., Zhang K. (2016): POLARIS: Agent-based modeling framework development and implementation for integrated travel demand and network and operations simulations // Transportation Research. 2016. Part C, 64. P. 101-116. DOI: 10.1016/j.trc.2015.07.017.
32. Borges F., Gutierrez-Milla A., Luque E., Suppi R. (2017): Care HPS: A high performance simulation tool for parallel and distributed agent-based modeling // Future Generation Computer Systems. 2017. Vol. 68. P. 59-73. DOI: 10.1016/j.future.2016.08.015.
33. Collier N., North M. (2012): Parallel agent-based simulation with Repast for High Performance Computing // Simulation. 2012. Vol. 89, No. 10. P. 1215-1235. DOI: 10.1177/0037549712462620.
34. Karypis G., Kumar V. (1995): METIS-unstructured graph partitioning and sparse matrix ordering system, version 2.0. 1995. URL: <http://dm.kaist.ac.kr/kse625/resources/metis.pdf> (дата обращения: 26.09.2020).
35. Romer P. (1990): Endogenous Technological Change // Journal of Political Economy. 985 (2). October 1990. p. 71–102.5

Software and analytical complex "MÖBIUS" - a tool for planning, monitoring and forecasting the socio-economic system of Russia

Valery Makarov

*Central economic and mathematical Institute of the Russian Academy of Sciences
Russian Federation, Moscow*

Albert Bakhtizin

*Central economic and mathematical Institute of the Russian Academy of Sciences
Russian Federation, Moscow*

Elena Sushko

*Central economic and mathematical Institute of the Russian Academy of Sciences
Russian Federation, Moscow*

Bulat Khabriev

*"RT-Business Development" LLC
Russian Federation, Moscow*

Nikolay Ilyin

*Central economic and mathematical Institute of the Russian Academy of Sciences
Russian Federation, Moscow*

Abstract

The article describes the MÖBIUS software-analytical complex, developed over a ten-year period at the CEMI RAS together with specialists from the Yandex company using the most modern methods of modeling socio-economic processes. It consists of several blocks: demographic, cross-industry, large-scale model of Eurasian countries, a system for designing agent-based models for their launch on supercomputers. Separate blocks are a module for calculating integral indicators of national strength and national security for 193 countries and a simulator of socio-economic dynamics for more than 100 countries of the world, developed jointly with Guangzhou Software Co., Ltd, the national supercomputer center of the PRC and specialists from the Chinese Academy of Social Sciences. The developed MÖBIUS complex can be a tool for planning, monitoring and forecasting the socio-economic system of Russia, and the work provides examples of its practical use.

Keywords: software and analytical complex "MÖBIUS", agent-based models, computable general equilibrium models, parallel computing, supercomputers, planning, monitoring, forecasting, socio-economic modeling

Date of publication: 06.12.2020

Citation link:

Makarov V., Bakhtizin A., Sushko E., Khabriev B., Ilyin N. Software and analytical complex "MÖBIUS" - a tool for planning, monitoring and forecasting the socio-

economic system of Russia // Artificial societies. 2020. Vol. 15. Issue 4.

URL: <https://artsoc.jes.su/s207751800012303-2-1/> DOI: 10.18254/S207751800012303-2

Код пользователя: 0; Дата выгрузки: 02.07.2026; URL - <http://artsoc.jes.su/s207751800012303-2-1/> Все права защищены.