

# АНАЛИТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

*Алексашина У.А., магистрант группы СГНЗ-41М  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Галаганова С.Г., кандидат философских наук,  
доцент кафедры «Информационная аналитика и политические технологии»*

**Аннотация.** Статья посвящена имитационному моделированию как современному инструменту анализа и прогнозирования социальных процессов и его практическому применению. Автор раскрывает понятие и сущность моделирования, исследует типологию моделей в соответствии с их свойствами и характером реализации. В статье представлен сравнительный анализ основных подходов к имитационному моделированию, описана технология построения имитационной модели. Преимущества и аналитический потенциал имитационного моделирования продемонстрированы на примере прогнозирования миграционных процессов в Российской Федерации.

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, миграционные процессы, агентное моделирование, прогнозирование миграции, математические модели, AnyLogic, гравитационная модель, push-pull факторы.

Моделирование представляет собой сложный аналитический инструмент, используемый для воспроизведения поведения и характеристик реального процесса, системы или явления. Этот процесс включает создание модели – как физической, так и концептуальной, отражающей наиболее значимые аспекты исследуемой системы. Модель подвергается воздействию заранее определённого набора входных данных и условий, что позволяет исследователям наблюдать и анализировать её реакцию. Это наблюдение даёт возможность получить ценную информацию о поведении реальной системы без рисков, затрат или временных ограничений, связанных с непосредственным экспериментированием. Другими словами, моделирование – это создание виртуального мира, в рамках которого можно манипулировать переменными и наблюдать за конечными результатами, предлагая действенный инструмент для понимания, прогнозирования и оптимизации реальных явлений и процессов [13].

Существуют различные классификации моделей. По характеру реализации они могут быть материальными (физическими), информационными и математическими. Материальные модели – это физические аналоги систем (например, масштабные копии конструкций). Информационные модели описывают потоки знаний о системе. Математические модели используют уравнения и алгоритмы для количественного описания процессов [6].

По свойствам выделяют статические и динамические модели. Статические описывают систему в определённый момент времени, не

учитывая её эволюцию, тогда как динамические позволяют прогнозировать будущие тенденции, однако требуют более сложных вычислительных методов и точных входных данных.

Компьютерное моделирование ознаменовало качественно новый этап в эволюции моделирования. В отличие от аналитических и физических моделей, компьютерные позволяют с беспрецедентной точностью исследовать сложные системы, оперируя огромными массивами данных. Примеры успешного применения охватывают эпидемиологию (моделирование пандемии COVID-19) [7], транспортные потоки, инженерное проектирование (методы конечных элементов и вычислительной гидродинамики) [8], а также финансовые рынки, где метод Монте-Карло используется для оценки рисков инвестиционных портфелей [9].

Для анализа и прогнозирования миграционных процессов разработан широкий спектр теоретических и формализованных моделей. Одной из первых стала гравитационная модель миграции, предложенная ещё Э. Равенштейном в 1885 году [1]. По аналогии с законом всемирного тяготения она оценивает поток мигрантов между территориями как величину, пропорциональную численности населения двух регионов и обратно пропорциональную расстоянию между ними. Эта концепция послужила базой для последующих количественных подходов.

Экономическое направление представлено теорией push-pull (выталкивающих и притягивающих факторов) [3] и моделью Харриса – Тодаро [10], объясняющей сельско-городскую миграцию через сравнение ожидаемых заработков с учётом вероятности трудоустройства. Наряду с детерминированными схемами применяются стохастические модели, в частности, основанные на цепях Маркова, где миграция рассматривается как вероятностный процесс с матрицей переходов, рассчитанной по статистическим данным [2]. Современный этап развития связан с машинным обучением и анализом больших данных: применяются нейронные сети, деревья решений, градиентный бустинг, а также цифровые следы из социальных сетей для выявления скрытых миграционных связей [14].

Особый класс подходов представляет имитационное моделирование, основанное на создании вычислительных имитаций миграционных процессов. В отличие от статистических или аналитических моделей, имитация предполагает программное воспроизведение процесса перемещения населения во времени с учётом заданных правил и взаимодействий. Такой метод особенно ценен для исследования сложных систем, где на поведение мигрантов влияет множество взаимосвязанных факторов и важны нелинейные эффекты и обратные связи [4].

Можно выделить следующие основные подходы к построению имитационных моделей:

1. Макромоделирование оперирует агрегированными показателями (численность населения, экономические индикаторы) и оценивает суммарные потоки между территориями [5];

2. Микро моделирование (агентный подход) воспроизводит миграцию на уровне отдельных агентов – индивидуумов или домохозяйств с индивидуальными характеристиками и правилами поведения;

3. ГИС-моделирование учитывает географическое пространство и транспортную доступность, визуализируя потоки на карте;

4. Мультиагентное (комбинированное) моделирование объединяет макро- и микроподходы, создавая иерархическую модель, где общеэкономические условия задаются на верхнем уровне, а тысячи агентов реагируют на них согласно индивидуальным правилам, формируя сложную адаптивную систему [16].

Технология построения имитационной модели включает ряд последовательных этапов:

1. Постановка целей и задач исследования, определение пространственных и временных границ модели;

2. Сбор и анализ данных из официальных статистических источников (Росстат, ЕМИСС и других);

3. Разработка концептуальной модели – упрощённого описания системы в виде диаграмм и схем;

4. Формализация в виде математической модели [18];

5. Программная реализация с использованием специализированных платформ;

6. Калибровка параметров по историческим данным [18];

7. Верификация (проверка правильности реализации);

8. Валидация (проверка соответствия реальным процессам) модели.

Итеративный характер процесса обеспечивает непрерывное уточнение и повышение точности модели.

На рынке программных средств имитационного моделирования ведущие позиции занимают несколько платформ. AnyLogic – комплексная платформа, поддерживающая агентное, дискретно-событийное и системно-динамическое моделирование; она широко применяется в логистике, производстве и здравоохранении [19]. Arena специализируется на дискретно-событийных моделях производственных и сервисных систем и отличается высокой производительностью. Simio предоставляет объектно-ориентированную среду с трёхмерной визуализацией, сочетая дискретно-событийный и агентный подходы [20]. GPSS World – классическая система дискретно-событийного моделирования с мощным син-

таксисом, применяемая в телекоммуникациях и производстве [13]. Выбор платформы определяется функциональными требованиями задачи, уровнем визуализации, стоимостью лицензирования и степенью поддержки.

Одно из наиболее перспективных направлений практического применения имитационного моделирования – исследование и прогнозирование миграционных процессов в Российской Федерации. Агенты в рамках модели, представляющие потенциальных мигрантов, наделяются характеристиками (возраст, образование, доход, семейное положение) и функционируют в виртуальной среде, отражающей региональные реалии страны. Пространственная неоднородность РФ – широкий спектр часовых поясов и географических условий, существенные межрегиональные различия в заработных платах, доступности жилья, уровне развития здравоохранения и инфраструктуры – делает имитационный подход особенно информативным.

Динамический характер моделирования позволяет проигрывать сценарии с изменёнными параметрами (уровень безработицы, жилищная политика, программы переселения) и оценивать вероятный диапазон результатов с учётом стохастических факторов – экономических потрясений, политической нестабильности, природных катаклизмов. Открывая возможности для оценки влияния экономических, социальных и институциональных факторов при построении прогнозных сценариев динамики перемещения населения Российской Федерации, имитационное моделирование позволяет разрабатывать адресные меры государственной политики. Сравнительный анализ программных платформ демонстрирует наличие богатого инструментального арсенала для решения разнообразных задач подобного класса.

Дальнейшее развитие данного научного направления связано, на наш взгляд, с совершенствованием его методологии, расширением эмпирической базы и интеграцией макроэкономических и агентных моделей. По мере роста вычислительных мощностей и накопления данных сложность и точность имитационных моделей будут повышаться, предоставляя директивным органам всё более действенный инструмент управления мобильностью населения и обеспечения устойчивого развития.

#### **Литература и источники:**

1. Абылкаликов С.И., Винник М.В. Экономические теории миграции: рабочая сила и рынок труда // Экономика и социум. 2012. № 12. С. 1–19.
2. Бутусов О.Б., Никифорова О.П., Редикульцева Н.И. Математические методы анализа миграционных процессов на основе демографических данных // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2015. Т. 9. С. 21–25.
3. Василенко П.В. Зарубежные теории миграции населения // Псковский регионологический журнал. 2013. № 16.

4. Гайкова Л.В. Имитационное моделирование процессов миграции населения в условиях рыночной экономики // НК. 2021. № 3.
5. Дмитриев Р.В., Кузьмин А.С. Моделирование миграционных потоков в регионе с использованием агентно-ориентированного подхода // Информационные технологии и вычислительные системы. 2022. № 4 (39). С. 67–77.
6. Канаметова Д.А. Анализ моделей динамических экономических систем // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 4 (114).
7. Карачурина Л.Б., Мкртчян Н.В. Внутренняя миграция в России: факторы, последствия, перспективы // Мир России. Социология. Демография. 2021. Т. 30, № 1. С. 6–33.
8. Макаренко С.И., Афонин И.Е. Моделирование боевых действий авиации и оценки их эффективности – анализ работ, моделей, актуальных направлений исследований // Системы управления, связи и безопасности. 2024. № 3.
9. Метод Монте-Карло // Т-Банк. URL: <https://www.tbank.ru/invest/social/profile/clanochik/7082de36-7b68-44be-956a-67056958eabc>.
10. Модель Харриса–Тодаро // Справочник. URL: [https://spravochnick.ru/ekonomika/migracionnaya\\_model\\_todaro/](https://spravochnick.ru/ekonomika/migracionnaya_model_todaro/).
11. Противодействие фальсификации истории великой отечественной войны / Бочарников И.В., Суздалева Т.Р., Федоров К.В., Криворучко А.А., Петренко А.И., Зеленков М.Ю., Кандыбович С.Л., Разина Т.В., Овсянникова О.А., Трипольский В.Б. Москва, 2020.
12. Ремарчук В.Н. Информационно-аналитическая деятельность: проблемы и перспективы // Вестник Академии военных наук. 2023. № 1 (82). С. 31–35.
13. Рыжиков Ю.И. Оценки системы моделирования GPSS World // Информационно-управляющие системы. 2003. № 2–3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenki-sistemy-modelirovaniya-gpss-word>.
14. Садовская Е.Ю. Миграция и развитие: концептуальные подходы и российская практика // Центральная Азия и Кавказ. 2021. Т. 24, № 1. С. 7–18.
15. Ткаченко А.А., Попов Д.А. Информационное моделирование миграционных потоков на основе данных социальных сетей // Программные продукты и системы. 2024. Т. 37, № 1. С. 125–132.
16. Улыбин А.В., Арзамасцев А.А. Мультиагентный подход в имитационном моделировании // Вестник российских университетов. Математика. 2010. № 5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/multiagentnyy-podhod-v-imitatsionnom-modelirovanii>.
17. Уразаева Л.Ю., Манюкова Н.В., Мамедли Р.Э. Математическое моделирование миграционных процессов // МСМ. 2019. № 4 (52).
18. Хавинсон М.Ю., Кулаков М.П. Концепция динамической гравитационной модели миграции населения // Региональные проблемы. 2016. № 4.
19. Хроль Е.В., Уварова А.Г., Кужильный А.В. Разработка имитационных моделей с помощью AnyLogic // Современные инновации, системы и технологии. 2023. № 4.
20. Simio // Официальный сайт. URL: <https://www.simio.com>.