

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ,
КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ/MATHEMATICAL SOFTWARE FOR COMPUTERS,
COMPLEXES AND COMPUTER NETWORKS**

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.156.38>

**ПРОГРАММНЫЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ ИГРОВОГО ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В
ЭКОНОМИКЕ И УПРАВЛЕНИИ**

Научная статья

Аручиди Н.А.¹, Барабаш Д.А.^{2,*}

¹ ORCID : 0000-0002-6668-1449;

² ORCID : 0000-0003-3331-6581;

^{1,2} Ростовский государственный экономический университет РИНХ, Ростов-на-Дону, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (bars-online[at]list.ru)

Аннотация

Имитационное моделирование полезно в области экономики и управления для решения задач в условиях неопределенности. Цель работы — выяснить как выбирается и создается инструментарий для упрощения построения цифровых двойников (digital twin) организаций и процессов, продемонстрировать результат на примере российского кейса 2024–2025 гг.

Выполнен обзор популярных систем для имитационного моделирования (AnyLogic, Simul8, NetLogo и др.), у них доступный интерфейс, подходящий для студентов и практиков. Выявлены их ключевые возможности и существующие ограничения. Среди основных результатов — описание имитационной модели, разработанной для отечественного предприятия (транспортная система), которая даёт возможность протестировать различные управленческие сценарии без риска для инфраструктуры.

Ключевые слова: имитационное моделирование, цифровой двойник, программные инструменты, экономика и управление, системная динамика, анализ сценариев.

SOFTWARE TOOLKIT OF GAME SIMULATION MODELLING IN ECONOMICS AND MANAGEMENT

Research article

Aruchidi N.A.¹, Barabash D.A.^{2,*}

¹ ORCID : 0000-0002-6668-1449;

² ORCID : 0000-0003-3331-6581;

^{1,2} Rostov State University of Economics RINH, Rostov-on-Don, Russian Federation

* Corresponding author (bars-online[at]list.ru)

Abstract

Simulation modelling is useful in the field of economics and management to solve problems under uncertainty. The aim of the work is to find out how tools are selected and created to simplify the construction of digital twins of organisations and processes, and to demonstrate the result on the example of the Russian case of 2024–2025.

A review of popular systems for simulation modelling (AnyLogic, Simul8, NetLogo, etc.) is carried out; they have an accessible interface suitable for students and practitioners. Their key capabilities and current limitations are identified. Among the main results is the description of a simulation model developed for a domestic enterprise (transport system), which gives the opportunity to test various management scenarios without risk to the infrastructure.

Keywords: simulation modelling, digital twin, software tools, economics and management, system dynamics, scenario analysis.

Введение

Действительность требует искать инструменты, с которыми можно делать прогнозы, при этом не вмешиваться в настоящую деятельность. Имитационное моделирование (ИМ) симулирует поведение сложных систем с помощью виртуальных моделей. В промышленности и логистике его потенциал давно отмечен. Но только около 15% специалистов в области проектного управления в строительстве (по состоянию на 2024 год в России) действительно знакомы с ИМ и используют его в своей работе [2].

Благодаря ИМ можно анализировать динамику процессов и проверять возможные сценарии развития событий без рисков и финансовых потерь, которые сопровождают обычно реальные эксперименты [1].

Концепция «цифрового двойника» говорит о связи между имитационной моделью и данными реальных объектов. Так, можно оперативно обновлять модель и получать рекомендации в режиме реального времени. Например, «двойник» предприятия собирает телеметрию со станков или линий производства, отражает актуальные параметры работы и помогает менеджерам прогнозировать развитие ситуации. Это стимулирует быстрое расширение рынка цифровых двойников (ожидается ежегодный рост на ~60% вплоть до 2027 года, когда объём рынка может превысить 70 млрд долларов). Но для внедрения технологий нужно преодолеть технические и организационные барьеры: выстроить и согласовать ИТ-инфраструктуру, создать интеграцию с корпоративными системами, найти специалистов и обеспечить финансовую сторону [8].

Актуальность темы имитационного моделирования в экономике и менеджменте обусловлена возросшей потребностью в современных программных инструментах, которые позволяют проектировать модели социально-экономических систем (и организаций), хранить и обрабатывать реалистичные данные о деятельности. Цель данной работы — проанализировать и обобщить принципы разработки программного инструментария для имитационного моделирования в сфере экономики и управления, а также предложить подходы к выбору оптимальных программных средств для учебного и прикладного использования [4]. В работе решены следующие задачи:

1. Проведён обзор популярных средств имитационного моделирования, доступных экономистам и менеджерам (включая студентов профильных специальностей).
2. Сформулированы ключевые черты и функциональные преимущества данных средств.
3. Предложена концепция программного инструментария (совокупности программ и библиотек), упрощающего построение моделей предприятий.
4. Разработана и описана экспериментальная модель для конкретного российского кейса 2025 года.
5. Проанализированы результаты тестовых экспериментов и рассмотрены перспективы дальнейшей эволюции таких инструментов.

Методы исследования

Работа носит комплексный характер и базируется на анализе научной литературы, сравнительном обзоре программных продуктов, а также результатах экспериментального моделирования. На первом этапе изучались отечественные и зарубежные публикации 2020–2025 гг., связанные с технологиями имитационного моделирования и цифровых двойников в экономике. Проведён контент-анализ основных методологических парадигм — дискретно-событийного моделирования (DES), агентного моделирования (ABM) и системной динамики (SD), которые нередко комбинируются при изучении социальных и экономических систем.

На втором этапе мы изучили программные инструменты, удовлетворяющие критерию относительной простоты и востребованности в образовании и на практике. В таблице 1 приведён список основных характеристик выбранных продуктов.

Таблица 1 - Характеристика некоторых программных инструментов имитационного моделирования, доступных для экономистов и менеджеров

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.156.38.1>

Программный инструмент	Методологии моделирования	Особенности	Типичные области применения
AnyLogic (Россия)	дискретно-событийная, агентная, системная динамика	Мультипарадигмальная платформа; наглядное визуальное моделирование; бесплатная образовательная версия	Бизнес-процессы, логистика, производственные системы, маркетинг; широко используется в университетах и крупных компаниях
Simul8 (Великобритания)	дискретно-событийная	Удобный интерфейс для процессных схем; низкий порог вхождения	Оценка операционных процессов, здравоохранение, цепочки поставок; быстрый анализ альтернатив
Arena (США)	дискретно-событийная	Коммерческое ПО с богатым функционалом статистики; нужна платная лицензия	Моделирование производства, складских операций, транспортных систем; корпоративный стандарт во многих крупных фирмах
NetLogo (США)	агентная	Открытый код; простой язык описания поведения агентов; активное сообщество	Анализ социально-экономических моделей, экологические исследования; часто используется в учебном процессе
Vensim (США)	системная динамика	Графический редактор диаграмм потоков и накоплений; аналитические инструменты;	Макроэкономическое планирование, экологические и социальные системы; долгосрочное

Программный инструмент	Методологии моделирования	Особенности	Типичные области применения
		бесплатная версия PLE	стратегическое моделирование

На основе проведённого обзора было решено, что действительно универсального пакета для всех случаев не существует. Однако актуальная тенденция — стремление к объединению разных методологий в рамках одной программной платформы (AnyLogic, Simio, FlexSim и др.). Параллельно формируется и другой тренд: интеграция имитационных возможностей в языки программирования общего назначения (Python, R). Подобные библиотеки (SimPy, Simmer и др.) хотя и требуют навыков кодирования, дают исследователям гибкость в настройке экспериментов, статистических расчётах и построении интерактивных сервисов [3].

Была выбрана стратегия комбинировать мультиметодную среду (AnyLogic) с Python-библиотеками для более глубоких математических вычислений и возможной интеграции с потоками данных в режиме реального времени. Такая связка уже проверена в ряде публикаций [5], [6], а наша задача заключалась в прикладном тестировании этого подхода на отечественном кейсе, представленном далее.

Основные результаты

В качестве демонстрационного кейса выбрано моделирование локальной транспортной системы на уровне городского квартала в России (2024–2025 гг.). Эта задача особенно актуальна в контексте импортозамещения: ранее для таких целей часто применялись зарубежные решения (PTV Vissim и т.п.), но теперь на передний план выходит задача разработать отечественные аналоги или гибридные инструменты. С 2024 года ряд российских компаний объявил о планах создать собственные программные модули для детального моделирования трафика, которые впоследствии будут включены в более обширную платформу «РИТМ» (нацеленную на транспортную сферу и объединяющую микро- и макроуровень моделирования) [10].

Мы использовали AnyLogic как центральное приложение для задания дорожной сетки, потоков движения, светофоров и пешеходных переходов, а также Python-скрипты для генерации случайных сценариев появления транспорта и обработки данных в пакетном режиме. Такая комбинация позволила проверить десятки вариантов настройки светофорных циклов, односторонних улиц и дополнительных пешеходных переходов. Задача заключалась в том, чтобы найти оптимальную конфигурацию, снижающую среднее время ожидания в пробках и повышающую безопасность для пешеходов [10].

Модель показала адекватный характер формирования очередей при светофорах и логичное поведение в ситуациях с заторами. Затем начался сериальный прогон: для заданных интенсивностей движения мы варьировали длительность светофорных фаз и схемы организации движения. В итоге выявили, что введение адаптивного регулирования (когда фаза светофора удлиняется при накоплении очереди) повышает пропускную способность примерно на 12% относительно статических настроек. Также было обнаружено, что один из выездов из квартала «захлёбывается» независимо от внутренних улучшений, указывая на необходимость учёта внешних магистралей (макроуровня) для комплексной оптимизации [5].

Поначалу могло показаться, что добавление ещё одного пешеходного перехода лишь усугубит заторы; однако модель продемонстрировала более сложный эффект: правильная организация кнопочного светофора помогла перераспределить потоки и сократить вероятность опасных скоплений людей у перекрёстка. Общие рекомендации, представленные администрации района, включали перенастройку цикла светофоров, экспериментальное введение одностороннего движения на коротком участке и монтаж дополнительного перехода с кнопочным управлением. По расчётам модели, суммарное сокращение времени ожидания автомобилей может достичь 15–18%, а пешеходы смогут безопаснее пересекать дорогу, избегая массовых скоплений.

С практической точки зрения данный кейс демонстрирует, как имитационное моделирование позволяет просчитать несколько сценариев развития транспортной ситуации и найти более сбалансированное решение, которое не всегда очевидно «на бумаге» [9]. Параллельно эксперимент показывает силу концепции цифрового двойника: если бы к модели были подключены реальные датчики (например, учитывающие поток машин и пешеходов в режиме реального времени), её можно было бы регулярно обновлять и получать быстрый прогноз, как именно скажется любое изменение (ремонт, авария, перекрытие улицы) на общей картине движения.

Обсуждение

Использованный нами программный инструментариум сочетает в себе удобство визуального создания моделей (AnyLogic) и гибкость скриптовых расширений (Python) [3]. В таком подходе каждая из составляющих усиливает другую: AnyLogic предлагает готовые библиотечные объекты для транспорта и наглядный интерфейс, а Python позволяет автоматизировать анализ, проводить более широкий статистический расчёт, а также интегрироваться с внешними базами. Фактически подобное решение уже близко к цифровому двойнику, так как имитация легко может получать свежие данные через API, представляя актуальную цифровую копию системы [4].

Широкому внедрению подобных решений препятствует несколько факторов. Не всегда хватает специалистов, способных грамотно строить и калибровать имитационные модели. Даже при наличии доступных программ нужно владеть теорией моделирования, методами статистики, понимать особенности сценарного анализа [8].

Вопрос интеграции: чтобы цифровой двойник работал в реальном масштабе времени, требуется согласованная инфраструктура для сбора данных с оборудования, датчиков, различных информационных систем. В России в последние годы начинают активно развиваться такие комплексные платформы, позволяющие «подключать» модули моделирования к уже существующим системам (ERP, SCADA и т.д.). Пример — проект PhoenixDS 8.0, в котором

добавлен модуль имитации производственных процессов и инструменты для оптимизации с помощью генетических алгоритмов. Подобные системы помогают предприятиям в режиме реального времени анализировать узкие места и распределять ресурсы эффективнее [7].

Всё чаще алгоритмы машинного обучения используют для быстрой настройки имитационных моделей или даже для управления самими агентами внутри модели. В экономике и менеджменте это означает появление интеллектуальных симуляторов, способных подстраиваться под исторические данные, выявлять тренды и самостоятельно предлагать оптимальные управленческие меры. Такой тандем ИМ и ИИ формирует, по сути, новое поколение инструментов поддержки решений [7].

Заключение

В представленной работе рассмотрены принципы разработки программного инструментария для имитационного моделирования в экономике и управлении. На основе анализа научных источников и сравнительного обзора программных решений (AnyLogic, Simul8, Arena, NetLogo, Vensim и др.) показано, что мультиметодный подход (сочетающий дискретно-событийные, агентные и системно-динамические принципы) наиболее полно отвечает потребностям, возникающим в реальной управленческой практике. Предложенное решение, основанное на связке мультиметодного пакета и скриптовых Python-модулей, упрощает разработку цифровых двойников организаций и процессов: визуальные средства обеспечивают быстрый старт и наглядность, тогда как возможности программирования дают свободу расширять функционал и подключать анализ в режиме реального времени [2].

В результате была создана имитационная модель, способная моделировать разные сценарии и выдавать конкретные рекомендации по оптимизации светофорных циклов, схемы движения и пешеходной инфраструктуры. Эксперименты показали, что даже локальные преобразования (например, переход на адаптивные светофоры и добавление пешеходного перехода) могут существенно снизить заторы и повысить безопасность. Тем самым исследование подтверждает ценность имитационного моделирования как инструмента разработки и проверки управленческих решений ещё до их реального внедрения.

Подведём некоторые общие итоги:

1. Имитационное моделирование в области экономики и управления даёт возможность прорабатывать сложные сценарии, минимизируя риски и не тратя значительных ресурсов на реальные эксперименты.

2. Развитие цифровой трансформации ведёт к появлению новых форм «живых» имитационных моделей — цифровых двойников, которые регулярно обновляются данными реальных объектов.

3. В России, как и во всём мире, формируется спрос на программные продукты, которые объединяют имитацию с корпоративными ИТ-системами. Создание отечественных аналогов, учитывающих наши специфику и стандарты, становится приоритетным направлением.

4. Для масштабного распространения методов ИМ необходимы адаптированные образовательные программы, обучающие будущих экономистов и управленцев не только пользоваться готовыми пакетами, но и понимать логику моделирования.

5. Перспективными направлениями исследований являются интеграция ИМ с искусственным интеллектом, широкое внедрение облачных сервисов для коллективной работы с моделями и более детальная экономическая оценка, обосновывающая окупаемость внедрения цифровых двойников.

Планируется проверить предложенный инструментарий на задачах логистики в торговых сетях, в банковском секторе (для оптимизации обслуживания в отделениях) и в производственной среде. Особый интерес представляет формирование интеллектуальных симуляторов, где имитационная модель и алгоритмы машинного обучения взаимодействуют для выработки оптимальных управленческих стратегий [6]. Также важен экономический анализ эффективности подобных систем, позволяющий количественно оценить выгоды от сокращения затрат и ускорения процессов принятия решений. Продвигая такие разработки и решения, отечественная научная и деловая среда получит новые инструменты для повышения конкурентоспособности, оперативного тестирования стратегий и адаптации к меняющимся условиям рынка.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

- Ефромеева Е.В. Имитационное моделирование: основы практического применения в среде AnyLogic: учебное пособие / Е.В. Ефромеева. — Москва: Университетское образование, 2020. — 256 с.
- Жарасов Б.С. Цифровые двойники в управлении производством: принципы создания, проблемы внедрения и перспективы развития / Б.С. Жарасов, В.И. Абрамов // Современная экономика: проблемы и решения. — 2024. — Т. 6. — С. 80–94. — DOI: 10.17308/meps/2078-9017/2024/6/80-94.
- Шмелев М.А. Имитационное моделирование поведения различных типов потребителей на основе экспертного подхода / М.А. Шмелев, М.Г. Матвеев // Вестник ВГУ. Серия: Системный анализ и информационные технологии. — 2023. — № 2. — С. 91–99. — DOI: 10.17308/sait/1995-5499/2023/2/91-99.

4. Azorin-Lopez J. A comprehensive review of AI-based digital twin applications in manufacturing: integration across operator, product, and process dimensions / J. Azorin-Lopez, E. Giovacchini, G. Sziebig [et al.] // *Electronics*. — 2025. — № 14 (4). — P. 1–26. — DOI: 10.3390/electronics14040646.
5. Filippov R.A. Intelligent System of Classification and Clusterization of Environmental Media for Economic Systems / R.A. Filippov, A.A. Kuzmenko, L.B. Filippova [et al.] // *Proc. of International Conf. on Economics, Management and Technologies 2020 (ICEMT 2020)*. — *Advances in Economics, Business and Management Research*. — 2020. — Vol. 139. — P. 583–586.
6. Gerlach B. Digital Supply Chain Twins — Conceptual Clarification, Use Cases and Benefits / B. Gerlach, S. Zarnitz, B. Nitsche [et al.] // *Logistics*. — 2021. — № 5 (4). — P. 1–21. — DOI: 10.3390/logistics5040086.
7. Ivanov D. A digital supply chain twin for managing the disruption risks and resilience in the era of Industry 4.0 / D. Ivanov, A. Dolgui // *International Journal of Production Research*. — 2021. — Vol. 59. — № 13. — P. 3881–3895. — DOI: 10.1080/00207543.2020.1768450.
8. Nguyen T.B. Simulation modeling — an effective method in doing business and management research / T.B. Nguyen // *HCMCOU Journal of Science: Economics and Business Administration*. — 2022. — Vol. 12. — № 1. — P. 108–124. — DOI: 10.46223/HCMCOUJS.econ.en.12.1.1916.2022.
9. Rowshankish K. What is digital-twin technology? / K. Rowshankish, R.W. Zimmel, T. Lajous [et al.] // *McKinsey Explainer*. — 2024. — URL: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/mckinsey-explainers/what-is-digital-twin-technology> (accessed: 26.03.2025).
10. Simetra и «Элина Компьютер» начали разработку решения для микромоделирования транспортных потоков // *CNews: Лента новостей*. — 2024. — URL: https://www.cnews.ru/news/line/2024-03-18_simetra_i_elina_kompyuter (дата обращения: 26.03.2025).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Efromeeva E.V. Imitacionnoe modelirovanie: osnovy prakticheskogo primeneniya v srede AnyLogic: uchebnoe posobie [Simulation modelling: basics of practical application in AnyLogic environment: textbook] / E.V. Efromeeva. — Moscow: University Education, 2020. — 256 p. [in Russian]
2. Zharasov B.S. Cifrovye dvojniki v upravlenii proizvodstvom: principy sozdaniya, problemy vnedreniya i perspektivy razvitiya [Digital twins in production management: principles of creation, problems of implementation and prospects of development] / B.S. Zharasov, V.I. Abramov // *Sovremennaja jekonomika: problemy i reshenija* [Modern economy: problems and solutions]. — 2024. — Vol. 6. — P. 80–94. — DOI: 10.17308/meps/2078-9017/2024/6/80-94. [in Russian]
3. Shmelev M.A. Imitacionnoe modelirovanie povedeniya razlichnyh tipov potrebitel'ej na osnove jekspertnogo podhoda [Simulation modelling of behaviour of different types of consumers on the basis of expert approach] / M.A. Shmelev, M.G. Matveev // *Vestnik VGU. Serija: Sistemnyj analiz i informacionnye tehnologii* [Bulletin of VSU. Series: System Analysis and Information Technologies]. — 2023. — № 2. — P. 91–99. — DOI: 10.17308/sait/1995-5499/2023/2/91-99. [in Russian]
4. Azorin-Lopez J. A comprehensive review of AI-based digital twin applications in manufacturing: integration across operator, product, and process dimensions / J. Azorin-Lopez, E. Giovacchini, G. Sziebig [et al.] // *Electronics*. — 2025. — № 14 (4). — P. 1–26. — DOI: 10.3390/electronics14040646.
5. Filippov R.A. Intelligent System of Classification and Clusterization of Environmental Media for Economic Systems / R.A. Filippov, A.A. Kuzmenko, L.B. Filippova [et al.] // *Proc. of International Conf. on Economics, Management and Technologies 2020 (ICEMT 2020)*. — *Advances in Economics, Business and Management Research*. — 2020. — Vol. 139. — P. 583–586.
6. Gerlach B. Digital Supply Chain Twins — Conceptual Clarification, Use Cases and Benefits / B. Gerlach, S. Zarnitz, B. Nitsche [et al.] // *Logistics*. — 2021. — № 5 (4). — P. 1–21. — DOI: 10.3390/logistics5040086.
7. Ivanov D. A digital supply chain twin for managing the disruption risks and resilience in the era of Industry 4.0 / D. Ivanov, A. Dolgui // *International Journal of Production Research*. — 2021. — Vol. 59. — № 13. — P. 3881–3895. — DOI: 10.1080/00207543.2020.1768450.
8. Nguyen T.B. Simulation modeling — an effective method in doing business and management research / T.B. Nguyen // *HCMCOU Journal of Science: Economics and Business Administration*. — 2022. — Vol. 12. — № 1. — P. 108–124. — DOI: 10.46223/HCMCOUJS.econ.en.12.1.1916.2022.
9. Rowshankish K. What is digital-twin technology? / K. Rowshankish, R.W. Zimmel, T. Lajous [et al.] // *McKinsey Explainer*. — 2024. — URL: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/mckinsey-explainers/what-is-digital-twin-technology> (accessed: 26.03.2025).
10. Simetra и «Элина Компьютер» начали разработку решения для микромоделирования транспортных потоков [Simetra and 'Elina Computer' started developing a solution for traffic flow micro-modelling] // *CNews: Лента новостей* [CNews: Newsfeed]. — 2024. — URL: https://www.cnews.ru/news/line/2024-03-18_simetra_i_elina_kompyuter (accessed: 26.03.2025). [in Russian]