

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ ОПТИМИЗАЦИИ ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Краснобаев Д.А., аспирант, ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», e-mail: mitek.kras@gmail.com
Кузьмин Д.В., к.т.н., доцент, ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», e-mail: kuzminmiit@gmail.com
Багинова В.В., д.т.н., профессор, ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», e-mail: vvbaginova@gmail.com

В статье рассматривается имитационное моделирование как мощный инструмент анализа и оптимизации логистических систем, позволяющий визуализировать процессы и выбирать наиболее эффективные стратегии развития. Актуальность темы обусловлена необходимостью принятия обоснованных управленческих решений в условиях растущей сложности логистических процессов и с учетом изменяющихся внешних факторов. Особое внимание уделено применению программной среды AnyLogic, которая предоставляет широкий функционал для построения сложных и детализированных моделей логистических процессов. В ходе исследования представлен анализ практики использования имитационного моделирования в различных сферах логистики. Приведены практические примеры реализации моделей: оптимизация операций складского комплекса, моделирование городских транспортных потоков и анализ пассажиропотоков в метрополитене, которые демонстрируют эффективность имитационного моделирования в решении прикладных логистических задач.

Ключевые слова: имитационное моделирование, оптимизация процессов, AnyLogic, дискретно-событийное моделирование.

SIMULATION MODELING AS A TOOL FOR OPTIMIZING LOGISTICS SYSTEMS

Krasnobaev D., the post-graduate student, FSAEI HE «Russian University of Transport», e-mail: mitek.kras@gmail.com
Kuzmin D., Ph.D., associate professor, FSAEI HE «Russian University of Transport», e-mail: kuzminmiit@gmail.com
Baginova V., Doctor of Engineering, FSAEI HE «Russian University of Transport», e-mail: vvbaginova@gmail.com

The article examines simulation modeling as a powerful tool for analyzing and optimizing logistics systems, enabling the visualization of processes and the selection of the most effective development strategies. The relevance of the topic is driven by the need to make well-founded managerial decisions in the context of increasing complexity of logistics processes and changing external factors. Special attention is given to the use of the AnyLogic software environment, which offers extensive functionality for building complex and detailed models of logistics processes. The study presents an analysis of the practical application of simulation modeling in various areas of logistics. Practical examples of model implementation are provided: optimization of warehouse operations, modeling of urban traffic flows, and analysis of passenger flows in the metro system, all of which demonstrate the effectiveness of simulation modeling in solving applied logistics tasks.

Keywords: simulation modeling, process optimization, AnyLogic, discrete-event modeling.

Во многих отраслях экономики — таких как производство, сфера услуг, транспорт, управление и финансы — функционируют системы, в которых постоянно возникает и обрабатывается массовый поток однотипных запросов и задач. В условиях растущей сложности современных бизнес-процессов увеличивается потребность в инструментах, позволяющих моделировать и анализировать поведение таких систем в динамике. Одним из наиболее эффективных методов анализа систем является имитационное моделирование.

Имитационное моделирование (ИМ) представляет собой частный случай математического моделирования, основанный на построении компьютерных моделей, воспроизводящих в виртуальной среде динамику функционирования реальных или гипотетических систем. Данный метод позволяет исследовать поведение систем при изменении их параметров, структуры или внешней среды, выявлять проблемные места, оценивать эффективность управленческих решений и прогнозировать последствия внедрения новых стратегий без необходимости вмешательства в реальные процессы.

История развития имитационного моделирования как отдельной научной дисциплины насчитывает несколько десятилетий и в первую очередь связана с развитием вычислительной техники и применения компьютеров в науке и инженерии. В России интерес к имитационному моделированию со стороны предпринимателей начал проявляться в начале 2000-х годов, и в настоящее время ИМ занимает значимое место среди инструментов прогнозирования, анализа и оптимизации бизнес-процессов в российских компаниях. Стоит отметить, что применение имитационного моделирования пока охватывает далеко не все сферы российской экономики, но его рост очевиден, и можно предполагать, что в ближайшем будущем эта тенденция не прекратится, так как использование технологий ИМ предоставляет огромные возможности для совершенствования предпринимательской деятельности.

Активное распространение имитационного моделирования объясняется рядом преимуществ, присущих этому методу исследования.

Во-первых, имитационная модель позволяет оценить эксплуатационные показатели системы еще на этапе проектирования, что позволяет провести необходимые корректировки и оптимизировать ее перед внедрением в реальную эксплуатацию [1].

Во-вторых, моделирование дает возможность тестировать альтернативные варианты функционирования системы путем изменения различных параметров, чтобы выявить оптимальное решение [6].

Наконец, существенным преимуществом имитационных моделей является возможность управления временем. Это позволяет сократить продолжительность эксперимента до нескольких минут, тогда как в реальности такой процесс занял бы недели или даже месяцы.

На сегодняшний день существует множество программных сред для создания имитационных моделей. Одной из самых популярных является программа AnyLogic, разработанная компанией The AnyLogic Company. Она обладает удобным графическим интерфейсом и широким набором инструментов, позволяющим создавать реалистичные модели и проводить подробный анализ изучаемой системы [7].

В настоящее время методы имитационного моделирования находят применение в различных сферах деятельности. По результатам исследований, лидером по внедрению и использованию ИМ в России является область логистики. Особое внимание уделяется моделированию различных логистических процессов, таких как управление складскими операциями, организация транспортных потоков и оптимизация цепей поставок.

Рассмотрим несколько примеров использования программной среды AnyLogic для решения прикладных задач в области логистики. Представленные проекты демонстрируют возможности имитационного моделирования в контексте повышения эффективности логистических систем.

Одним из рассматриваемых проектов является модель складского комплекса, разработанная с целью оценки влияния схемы размещения товарных единиц на эффективность сборки заказов. На рисунке 1 представлена разметка пространства основной зоны хранения склада и диаграмма процесса.

В среде AnyLogic воспроизведена структура склада, движение сборщиков и логика комплектования заказов. Путём варьирования стратегии хранения (например, случайное распределение или по принципу ABC) анализируется, как изменение расположения товаров сказывается на общей продолжительности сборки [4].

Возможности программной среды AnyLogic позволяют моделировать не только типовые логистические процессы, но и специали-

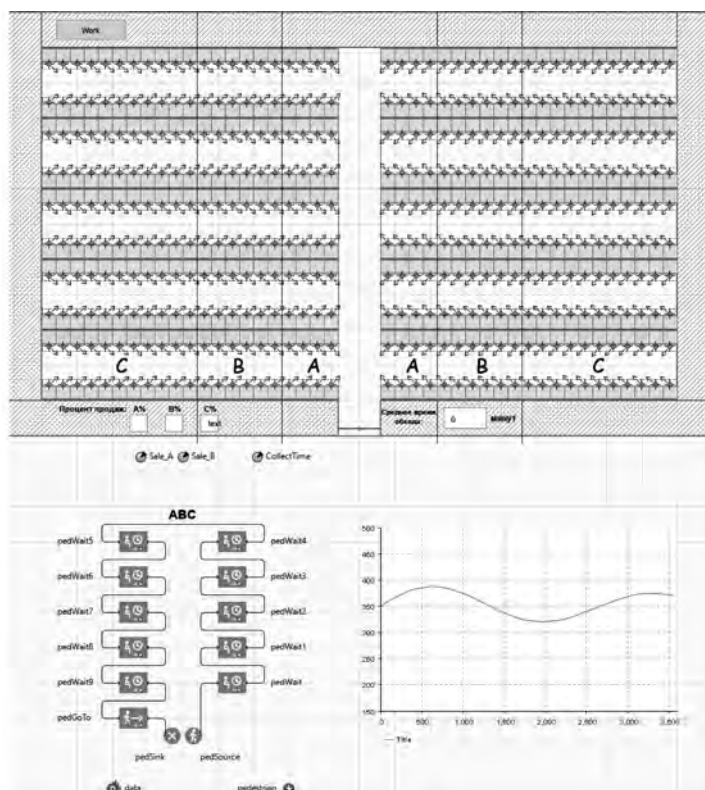


Рис. 1. Разметка пространства основной зоны хранения склада и диаграмма процесса

зированные объекты с учётом особенностей используемой техники. Так, например, в рамках моделирования склада металлопроката можно воспроизвести работу кран-балки, применяемой для перемещения крупногабаритной продукции.

На рисунке 2 представлена 3D визуализация модели склада с кран-балкой и погрузчиками.

Имитационная модель учитывает технические характеристики оборудования, ограничения по перемещению, зону охвата и даёт возможность более точно анализировать эффективность операций и оптимизировать логистику хранения и отгрузки продукции.

Городская транспортная система представляет собой сложную динамическую среду, которая требует особого внимания к организации потоков и эффективному управлению инфраструктурой.

Имитационное моделирование может быть эффективно использовано для управления динамикой транспортных потоков, например, для настройки оптимальных фаз светофорного регулирования на перекрёстках. На рисунке 3 представлен результат такого экспери-

мента, направленного на минимизацию среднего времени проезда транспортных средств.

Для реализации задачи использованы встроенные в AnyLogic инструменты оптимизации, включая возможность задания целевой функции, ограничений и автоматического подбора параметров. Модель позволяет подобрать такие значения фаз светофора, которые обеспечивают наилучшую пропускную способность перекрёстка и снижение задержек в транспортном потоке. Подробнее данный вопрос рассмотрен в работах [3, 5].

Имитационное моделирование может применяться для анализа пассажиропотоков в инфраструктуре метрополитена [2].

На рисунке 4 представлен вид 3D модели станции метро «Достоевская».

Программа AnyLogic предоставляет для моделирования такие инструменты как железнодорожная и пешеходная библиотеки. С их помощью можно визуализировать и анализировать движение больших потоков людей, учитывая интервалы прибытия поездов и

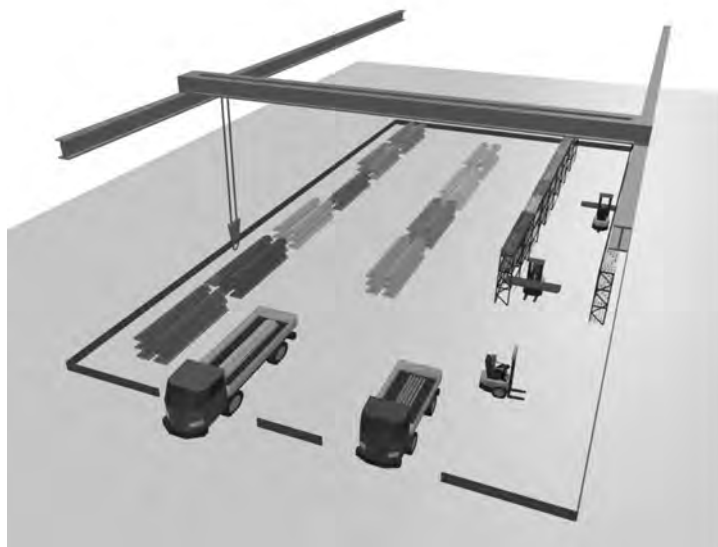


Рис. 2. Визуализация модели склада

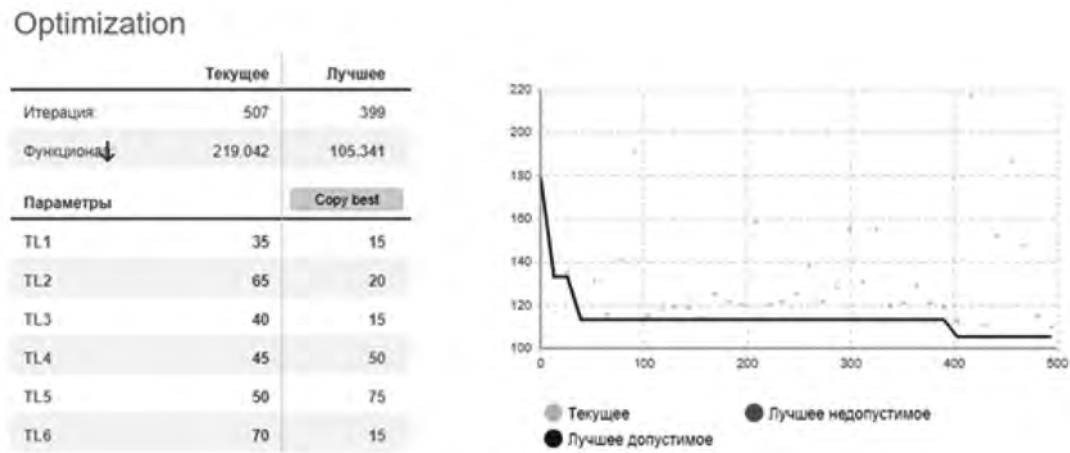


Рис. 3. Результат проведения оптимизационного эксперимента

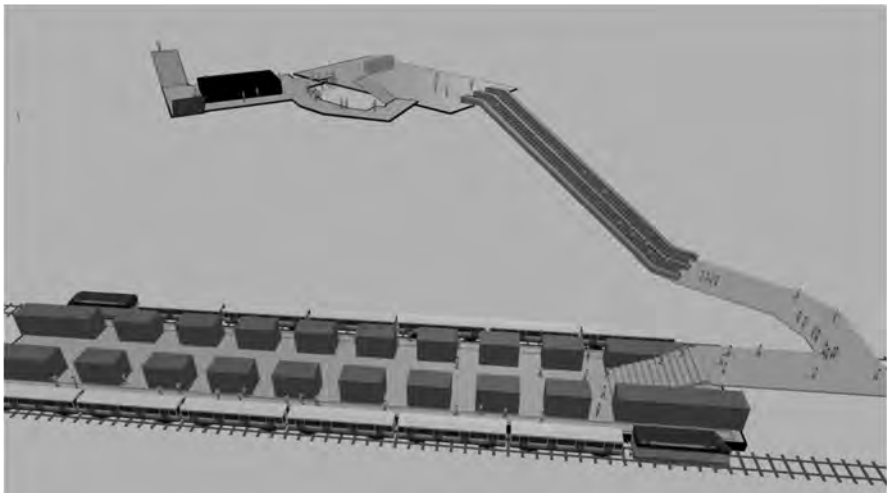


Рис. 4. Модель станции метро Достоевская

загруженность станций. Функционал данных библиотек позволяет составлять карту плотности пешеходного потока и вести статистику времени ожидания и времени обслуживания пассажиров.

Имитационная модель дает возможность выявить проблемные места в инфраструктуре метрополитена, а также подобрать оптимальные режимы эксплуатации оборудования станции.

Таким образом, можно сделать вывод, что имитационное моделирование является мощным инструментом для оптимизации логистических процессов. Виртуальные модели обеспечивают более глубокое понимание функционирования реальных систем и позволяют принимать обоснованные решения для их совершенствования.

Следует отметить, что метод имитационного моделирования продолжает активно развиваться. В результате научных исследований и накопления практического опыта, а также с развитием информационных технологий, появляются новые методы и инструменты для создания более сложных, масштабных имитационных моделей. Это открывает новые возможности для применения данного подхода в широком спектре областей, включая экономику, логистику, транспорт и многие другие.

Литература:

1. Бялошицкая П.О. Моделирование складских операций в среде AnyLogic // Девятая всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2019). Труды конференции, 16–18 октября 2019 г., Екатеринбург: Урал. гос. пед. ун-т., 2019. 678 с. ISBN 978-5-91450-172-0. С. 375-380.

2. Краснобаев, Д. А. Имитационное моделирование систем массового обслуживания на примере модели станции метро «Достоевская» / Д. А. Краснобаев // Международная межвузовская научно-практическая конференция молодых ученых «Интеграция систем управления и логистики на транспорте» : Материалы кон-

ференции, МОСКВА, 26 апреля 2024 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Издательство Прометей", 2024. – С. 51-53. – EDN JYGTDW.

3. Кузьмин Д.В., Багинова В.В., Краснобаев Д.А., Мусатов Д.В. Разработка имитационной дискретно-событийной модели транспортной инфраструктуры с использованием инструментов оптимизации // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2023. Том 17. №2. С. 42-48. – DOI 10.36724/2072-8735-2023-17-2-42-48. – EDN DXCLTV.

4. Кузьмин Д.В., Багинова В.В., Краснобаев Д.А., Совершенствование работы транспортно-логистической инфраструктуры с использованием средств дискретно-событийного имитационного моделирования // Транспорт Урала. 2023. № 4 (79). С. 67-71. – EDN NHWDWB.

5. Кузьмин, Д. В. Дискретно-событийная имитационная модель работы перекрестка / Д. В. Кузьмин, В. В. Багинова // Академик Владимир Николаевич Образцов - основоположник транспортной науки : труды международной научно-практической конференции, посвященной 125-летию университета, Москва, 22 октября 2021 года. – Москва: Российский университет транспорта, 2021. – С. 487-497. – DOI 10.47581/2022/Obrazcov.65. – EDN TJOCUB.

6. Оперативное планирование и комбинаторная оптимизация в имитационных моделях транспортной логистики проектного уровня / А. Г. Топаж, О. В. Таровик, А. С. Реуцкий, В. А. Киселев // Девятая всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности : Труды конференции, Екатеринбург, 16–18 октября 2019 года. – Екатеринбург: Издательство Уральского государственного педагогического университета, 2019. – С. 235-241. – EDN XGNWTT.

7. Малыгина С. Н., Неупокоева Е. О. Обзор современных средств имитационного моделирования // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. – 2022. – Т. 13. – №. 2. – С. 134-143.