

**ОСНОВНЫЕ РЕСУРСЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЛОГИСТИКЕ**

*Мухтарбекова Расита Мухтарбековна*, преподаватель кафедры «Логистика», КГТУ им.И.Раззакова, Кыргызская Республика, 720044, г. Бишкек, пр. Ч.Айтматова, 66, e-mail: m.rasita94@gmail.com

*Бубликова Юлия Сергеевна*, магистрант кафедры «ИСЭ», КГТУ им.И.Раззакова, Кыргызская Республика, 720044, г. Бишкек, пр. Ч.Айтматова, 66, e-mail: Julija.s\_2@mail.ru

*Абылкайыров Токтобек Эрнисбекович*, магистрант кафедры «МПИ», КГТУ им.И.Раззакова, Кыргызская Республика, 720044, г. Бишкек, пр. Ч.Айтматова, 66, e-mail: abylkaiyrov@gmail.com

**Аннотация.** Имитационное моделирование является технологией, которую активно применяют в моделировании и совершенствовании логистических процессов, инжиниринге, управленческом консультировании и интегрированном планировании в цепях поставок. Менеджеры и логисты должны осваивать применение этих высокотехнологичных IT-решений в логистике и управлении цепями поставок, так как данная область является одной из самых широких на сегодняшний день. Именно они позволяют выработать эффективные управленческие решения в системном анализе и интегрированном планировании цепей поставок при проектировании сложных объектов. Дан краткий обзор основных существующих программ для имитационного моделирования для сферы логистики. Статья посвящена проблеме применения программных продуктов для имитационного моделирования на примере американской компании Procter & Gamble и российской

компании «Эльдорадо». Показано какие преимущества может дать подобное программное обеспечение, какие трудности могут встретиться предприятию, внедряющему их.

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, аналитическое моделирование, имитационная модель, логистическая система, AnyLogistix, Procter & Gamble.

## MAIN RESOURCES FOR SIMULATION IN LOGISTICS

*Mukhtarbekova Rasita Mukhtarbekovna*, teacher of the department "Logistics", KSTU named after I. Razzakov, Kyrgyz Republic, 720044, Bishkek, Ch.Aitmatova Ave., 66, e-mail: m.rasita94@gmail.com

*Bublikova Yulia Sergeevna*, undergraduate student of the Department of ISE, KSTU named after I. Razzakov, Kyrgyz Republic, 720044, Bishkek, Ch.Aitmatova Ave., 66, e-mail: Julija.s\_2@mail.ru

*Abylkayrov Toktobek Ernisbekovich*, undergraduate of the department "MPI", KSTU named after I. Razzakov, Kyrgyz Republic, 720044, Bishkek, Ch.Aitmatov Ave., 66, e-mail: abylkaiyrov@gmail.com

**Annotation.** Simulation is a technology that is actively used in the modeling and improvement of logistics processes, engineering, management consulting and integrated planning in supply chains. Managers and logisticians must master the application of these high-tech IT solutions in logistics and supply chain management, since this area is one of the broadest today. It is they that make it possible to develop effective management decisions in system analysis and integrated planning of supply chains in the design of complex objects. A brief overview of the main existing programs for simulation modeling for the logistics sector is given. The article is devoted to the problem of using software products for simulation modeling on the example of the American company Procter & Gamble and the Russian company Eldorado. It shows what advantages such software can give, what difficulties an enterprise that implements them may encounter.

**Keywords:** simulation modeling, analytical modeling, simulation model, logistics system, AnyLogistix, Procter & Gamble

Управление логистикой предприятия требует учета множества факторов. Имитационное моделирование — это метод исследования, который при котором изучаемая система заменяется моделью, имитирующей эту систему [1]. Имитационная модель – это компьютерное воспроизведение развертывания во времени функционирования моделируемой системы, т.е. воспроизведение её перехода из одного состояния в другое [2, с.10]. Над моделью проводят эксперименты, в результате которых возможно получить информацию о реальной системе. При необходимости заранее спрогнозировать результаты в проектах по реинжинирингу деятельности компаний применяют имитационное моделирование выполнения бизнес-процессов. В настоящее время имитационное моделирование является общепризнанным методом исследования сложных динамических систем. Оно широко применяется в различных областях науки, бизнеса и производства.

Особенность имитационной модели в том, что она отражает поведение объекта во времени и пространстве при задании внешних воздействий на объект [3, с. 95]. Её использование позволяет находить оптимальные управленческие решения, с учётом множества критериев. Так же можно проводить эксперименты с существующей логистической системой в формате «что, если».

Имитационное моделирование состоит из двух процессов. Первый — это создание модели существующей системы, на которой будут проводиться эксперименты, а второй – сам эксперимент. Среди задач имитационного моделирования: предугадывание поведения логистической системы; исходя из данных, полученных при имитации системы, выбор необходимой стратегии.

Имитационное моделирование применимо при следующих условиях:

- 1) пока не существует законченная математическая постановка данной задачи;

2) существует аналитическая модель, но без нужных знаний, процедуры по её осуществлению очень сложны, поэтому лучше применять менее трудоёмкое имитационное моделирование;

3) можно применить аналитическое моделирование, но персонал организации недостаточно подготовлен для его реализации.

То есть применить имитационное моделирование легче, чем аналитическое. Имитационное моделирование без всяких проблем может учитывать случайные воздействия на систему, которые могут создать трудности при применении аналитического моделирования.

В процессе имитационного моделирования происходит воспроизведение работы системы во времени. При этом имитируются элементарные явления, из которых состоит процесс, причём с сохранением всей логической структуры системы. Модель ничего не решает, а проводит работу программы с определёнными параметрами, меняя все доступные установки, введённые конечным пользователем.

На сегодняшний день множество компаний как частного, так и государственного сектора обращаются к помощи программ для имитационного моделирования чтобы реализовывать свои проекты без особого риска для своей работы [4].

Сегодня существует множество программных продуктов для имитационного моделирования в логистике. Данные для их классификации были собраны на основе анализа данных с сайтов компаний, предоставляющих подобные продукты.

Инструментальные средства для имитационного моделирования условно построены на четырех основных парадигмах:

1) *Агентное моделирование* – это имитационное моделирование, которое исследует поведение децентрализованных агентов и его влияние на всю систему в целом.

2) *Системная динамика* позволяет смоделировать сложную систему на высшем уровне абстракции, не принимая в расчёт такие незначительные детали как свойства каждого вовлечённого в процесс предмета, человека или события.

3) *Динамическая система* рассматривает непрерывно функционирующий в пространстве и времени объект, который изменяет своё состояние под влиянием разных факторов.

4) *Дискретно-событийное моделирование*, в котором работа системы представляется как хронологическая цепочка событий.

В табл.1 приведена классификация, на основе вышеописанных парадигм, существующих программ для имитационного моделирования:

**Таблица 1 - Инструментальные средства для имитационного моделирования**

Системная динамика	Дискретно-событийное моделирование	Динамическая Система	Агентное моделирование
VenSim, eMPlant, Stella, Dynamo, SimuLab, AnyLogic, Arena, PowerSim, Ithink, Supply Chain Guru, SimBioSys, Plant Simulation, Tecnomatix и др.	Taylor Simulation, PowerSim Studio, Enterprise Dynamics, AutoMod, Pilgrim, GPSS, SIMUL8, SIMULA, Witness, SimScript, FlexSim SimProcess, Quest, Modelling, Promodel, Extend, AnyLogic, Arena и др.	Multisim VisSim, CSSL, MATLAB+Simulink, GASP, LabView, Easy5, Дорожный менеджер, PowerSim, Supply Chain Guru, MvStadium, Dynamo, MIMIC и др.	C++, Ascape, SimAgent, Swarm+MAML, AnyLogic, SimBioSys, NetLogo, AgentSpeak, Java, TeleScript, Mason RePast, Oz и др.

Из табл.1 видно, что некоторые программные продукты повторяются в двух и более столбцах. Это говорит о том, что сегодня классификация программ по подобным признакам довольно условна, так как современные программы для имитационного моделирования становятся более универсальными. Так же видно, что программ для имитационного моделирования на рынке представлено в достаточном количестве, но не все из них доступны широкому кругу пользователей [5].

Большинство систем имитационного моделирования в логистике создаются с помощью программного продукта «Anylogic», поэтому в данной статье мы разберем программу «anyLogistix» созданную именно на этой платформе.

AnyLogistix™ (ALX™) является инструментом для проектирования цепей поставок и управления ими с помощью цифровых двойников. ALX применяет оптимизацию и моделирование к операционным данным цепочки поставок. Это даёт возможность анализировать сеть на каждом из эшелонов и в целом.

Совмещая методы имитационного моделирования и аналитической оптимизации, мы можем изучить цепи поставок в деталях и получить наглядное представление на уровне, недостижимом для традиционных инструментов.

Вместе традиционные аналитические методы оптимизации и инновационные технологии имитационного моделирования, anyLogistix предоставляет полный набор инструментов для комплексного анализа цепи поставок. Например, вы можете спланировать наиболее выгодную конфигурацию цепи поставок с помощью оптимизации, а затем использовать имитационное моделирование для тестирования разных политик и анализа рисков. Созданные с помощью anyLogistix цифровые двойники существенно облегчают работу менеджерам. Опираясь реальными данными, вы сможете лучше контролировать свою цепь поставок и анализировать изменения.

Рассмотрим на примере задачи оптимизации цепи поставок для компании PROCTER & GAMBLE. Procter & Gamble – американская международная компания по производству потребительских товаров. Компания P&G, которая имеет представительство в Юго-Восточной Азии столкнулось с такой проблемой как не удовлетворение и недостаточность эффективности текущего спроса, в структуре сети поставок и политике управления запасами для ассортимента продукции, которая была представлена в местных торговых точках. В регионе и в целом сложившаяся ситуация могла привести к негативным финансовым последствиям, что в перспективе оказало бы неблагоприятное влияние на деятельность компании.

Данная проблема и натолкнула компанию на пересмотр структуры своей сети поставок, и в том числе оптимизировать политику управления запасами.

Procter & Gamble желая оптимизировать цепочки поставок с помощью современных цифровых технологий, решили поручить разработку и тестирование новой сети поставок консультантам из компании SupChainEra, которые в свою очередь должны были создать компьютерную модель существующей сети. Что позволило бы протестировать новые возможные бизнес-стратегии в безрисковой цифровой среде и создать план по реализации наиболее эффективных из них.

Какое решение было получено? Для создания модели оптимизации сети поставок разработчики использовали программное обеспечение anyLogistix. Их цель – совместно использовать преимущества сетевой аналитической оптимизации и динамического имитационного моделирования, чтобы изучить все аспекты работы цепи поставок и обеспечить лиц, принимающих решения, точной и понятной информацией. Набор готовых экспериментов, входящих в пакет программного обеспечения, позволил разработчикам гораздо быстрее тестировать и анализировать новые стратегии [6].

Сначала команда консультантов создала базовую модель, в которой были отражены все 20 000 площадок компании P&G в регионе, где производились, распределялись или закупались товары: от крупных производств до небольших розничных магазинов. Программа

anyLogistix поддерживает создание моделей крупных логистических сетей, и консультанты воспользовались этим преимуществом.

В базовой модели товары перемещались с фабрик P&G в распределительные центры (первый этап, фиксированная стоимость доставки), между распределительными центрами и из центров – к конечным потребителям (второй этап, стоимость зависит от расстояния). Для повышения эффективности конфигурации базовой модели разработчики провели оптимизацию сети поставок с помощью anyLogistix. Для оценки результата использовались следующие показатели:

- расчётное время поставки товаров и выполнения заказов;
- количество транспортных средств, задействованных в поставках товаров;
- коэффициент использования транспортных средств;
- уровень товарных запасов в центрах распределения.

Оказалось, что стоимость перевозки значительно возрастает, если товары перевозятся между распределительными центрами. Консультанты проанализировали статистику, полученную на основании выходных данных модели, и предложили преобразовать два из наиболее загруженных центров распределения в транспортные узлы. Таким образом, если бы товары перевозились не напрямую из одного распределительного центра в другой, а накапливались в узлах и затем отправлялись в другие распределительные центры снижалась бы стоимость транспортировки и обеспечивалась более эффективная работа цепи поставок.

Благодаря возможностям программного обеспечения anyLogistix консультанты смогли разработать структуру сети поставок, протестировать и оптимизировать её, в том числе используя прямые и составные маршруты между распределительными центрами. Результаты расчетов показали, что при переходе к новой структуре сети поставок транспортные расходы компании снизятся на 20%.

Следующим шагом для оптимизации цепи поставок P&G был переход к стратегии планирования материальных ресурсов. Новая стратегия должна была помочь сохранить высокий уровень сервиса при транспортировке товаров между звеньями цепи поставок. Для разработки этой стратегии консультанты компании SupChainEra использовали имеющиеся данные о спросе со стороны конечных потребителей. На основании этих данных с помощью алгоритмов машинного обучения они прогнозировали нагрузку на распределительные центры.

Полученные результаты использовались в качестве исходных данных для настройки стратегии планирования материальных ресурсов в базовой модели. В итоге удалось снизить средний уровень товарных запасов в распределительных центрах, однако это повлияло на уровень сервиса в некоторых из них. В частности, в двух распределительных центрах, расположенных на островах, уровень сервиса снизился с 98% до 94%, что было неприемлемо для компании. Чтобы улучшить этот показатель, консультанты использовали возможности anyLogistix для оптимизации страхового запаса. Таким образом им удалось сбалансировать уровень обслуживания при сокращении уровня товарных запасов на 40%.

На заключительном этапе моделирования консультанты внедрили в оптимизированную сеть поставок разработанную стратегию планирования материальных ресурсов, запустили модель и сравнили текущие результаты с теми, которые они получили при эксперименте с базовой моделью.

В результате новая конфигурация сети и предложенные стратегии показали более высокие результаты по качеству обслуживания и экономии средств, чем базовая модель. Средний уровень товарных запасов снизился на 35%, а расходы – на 20%. Разработанные решения для цепочки поставок были представлены руководству компании, получили положительные отзывы и были рекомендованы к внедрению.

Рассмотрим также другой пример успешного применения anyLogistix. Компании «Эльдорадо», владеющей сетью магазинов бытовой техники и электроники в 350 городах Российской Федерации, требовалось определить оптимальное количество складов и города их расположения для лучшего удовлетворения спроса покупателей и минимизации затрат на

доставку и хранение товара. Анализ показал применимость для этой проблемы решения по оптимизации цепей поставок anyLogistix [7,8].

В качестве входных данных заказчик предоставил информацию о потенциальных точках складов: расходы на аренду помещений, инвестиции на открытие новых или расширение старых складов, средний уровень и стоимость хранения товарных запасов, суммарные расходы на фонд оплат труда, охрану и пр. Кроме того, в имитационной модели anyLogistix были учтены географические координаты складов и магазинов, расстояния между городами.

Имитационная модель позволила детально воспроизвести несколько вариантов событий:

– «каждый день» (в модельном времени): в магазинах продается товар, считаются потери от дефицита товара и стоимость товарного запаса в системе;

– «раз в неделю»: происходит пополнение товарного запаса на складах до целевого уровня, считается стоимость транспортировки товара и планируется отсроченный платеж поставщикам;

– «каждый месяц»: обновляются целевые уровни складов согласно месячному уровню продаж магазинов, генерируются маршруты поставок товаров со складов в магазины, планируются отправки товара франчайзи.

«Ежемесячные» продажи соответствуют среднему уровню продаж, а «ежедневные» продажи генерируются случайно.

Пользователь может проводить несколько типов экспериментов:

1. В простом эксперименте пользователь вручную выбирает склады из списка и запускает модель с данным набором, чтобы получить статистику по выбранной комбинации.

2. Эксперимент варьирования параметров перебирает все возможные комбинации расположения складов, учитывая «зафиксированные» склады и их максимально возможное количество. В результате эксперимента отображается лучшая комбинация складов при наименьших затратах компании.

3. На основе этой конфигурации цепи поставок оптимизационный эксперимент рассчитывает площадь складов при магазинах.

*Выводы.* Рассмотрев методы имитационного моделирования для решения управленческих задач, можно говорить о том, что помощью в решении задач создания эффективных систем управления технологическими процессами является сочетание методов теории управления и имитационного моделирования.

И можем говорить о том, что в имитационной модели можно провести реализацию практически любого алгоритма управленческой деятельности, а также поведения системы. Кроме того, данный метод является достаточно бюджетным. При этом помогает в исследованиях систем, а также количественной оценки характеристик их функционирования.

Имитационное моделирование является одним из методов, который применяется специалистами в случаях, когда использование математических моделей вызывает определенные трудности или когда лежащие в их основе предпосылки неадекватны реальным условиям. Метод имитационного моделирования можно применять в сложных ситуациях, не принимая никаких предпосылок об исходных данных.

## Литература

1. РПД «Имитационное моделирование логистических процессов в цепях поставок». [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://logistics.hse.ru/data/2020/01/14/1515953394/program-1509513345-XAxEpUiFEz.pdf> (дата обращения: 07.04.2020)
2. Толуев Ю., Планковский С.: Моделирование и симуляция логистических систем. - «Миллениум», 2009. –85 с.

3. Горев А.: Основы теории транспортных систем. - СПб., 2010. – 214 с.
4. Имитационное моделирование входит в моду [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: <https://shipadvisor.ru/news/stati/imitatsionnoe-modelirovanie-v-logistike-vkhod/>
5. Данилов И.Д. Программные продукты для имитационного моделирования в логистике //Вопросы студенческой науки. 2017. №16. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/programmnye-produkty-dlya-imitatsionnogo-modelirovaniya-v-logistike> (дата обращения: 06.04.2020).
6. Оптимизация цепи поставок для компании Procter@Gamble. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.anylogistix.ru/procter-gamble-performs-supply-chain-optimization-with-anylogistix/> (дата обращения: 07.04.2020)
7. Развитие сети складов компании «Эльдорадо». [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.anylogic.ru/warehouse-network-development/> (дата обращения: 07.04.2020)
8. Медведков Е.Б. Создание устойчивой академической сети в рамках проекта Hiedtech / Е.Б. Медведков, Л.К. Байболова, А.А. Калабина // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И.Раззакова. 2019. №4 (52). С. 163-173