

УДК 338      DOI: 10.14451/1.221.120

# Моделирование оптимальной логистической системы

© 2023 Гизатуллина Ольга Михайловна

кандидат экономических наук, доцент Департамента бизнес-аналитики. Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации. Россия, Москва.

E-mail: omgizatullina@fa.ru

**Ключевые слова:** логистическая система, моделирование, оптимизация, имитационные модели.

Доля логистических затрат в общей структуре затрат, по данным Росстата, в России составляет более 16%, что намного выше, чем в ведущих странах мира. В настоящее время в условиях введения санкций против России вопрос оптимизации логистических коридоров с целью снижения затрат приобретает наибольшую актуальность. Очевидно, что на сегодняшний день необходимость моделирования оптимальных логистических систем является условием поддержания конкурентоспособности организаций. Для экономических субъектов важны все способы построения рациональной логистической системы, особенно математико-статистические методы, которые позволяют количественно оценить текущее состояние и дать необходимую информацию для принятия эффективных управленческих решений. В статье рассмотрены экономико-статистические подходы и методы моделирования оптимальных логистических систем, в том числе имитационное моделирование, позволяющее в условиях неопределенности и риска, учитывать множество факторов при построении логистических систем. На практике учет логистических затрат должен быть интегрирован с их нормированием, планированием, анализом с единой информационной системой, позволяющей оперативно выявить и устранить отклонения в процессе логистической деятельности.

Логистические системы постоянно подвергаются воздействию множества факторов, так как функционируют в условиях неопределенности и риска. Имитационные модели учитывают множество факторов в своей модели, что позволяет более точно спрогнозировать пути протекания логистических процессов.

Логистическая система – это сложная структурированная экономическая система с множеством подсистем, связанных цепями материальных, финансовых, информационных и энергетических потоков. Оптимизация и прогнозирование таких систем на практике осуществляется с помощью экономико-математического моде-

лирования – описания логистических процессов в виде моделей.

Для построения моделей логистических систем или ее отдельных элементов и подсистем используются множество подходов и методов. При этом можно отметить основные методы:

- методы линейного программирования;
- методы целевого программирования;
- методы целочисленного программирования;
- методы случайного поиска;
- сетевое моделирование;
- имитационные (статистические) методы моделирования.

Следует отметить и работы российских ученых последних лет, внесших существенный вклад в исследование теоретических и практических вопросов моделирования оптимальных логистических систем: Шамис В. А., Клавдиенко Н. В., Мирошниченко Д. А., Масликова Т. Е., Редько С. Г.

В. А. Шамис рассматривает моделирование логистических систем с применением программы Anylogic. Клавдиенко Н. В. и Мирошниченко Д. А. занимаются вопросами оптимизации затрат транспортно-складских комплексов. Масликова Т. Е., Редько С. Г. в своих работах предлагают использование подходов имитационного моделирования для оценки эффективности логистических процессов [9; 12; 18].

Объект исследования – логистические затраты интегрированных структур бизнеса.

Цель исследования – провести анализ существующих методик построения оптимальных логистических систем

#### **Методика проведения исследований**

В процессе исследования использовался системный подход, сравнение, метод систематизации и обобщения данных. Информационной базой для научной работы послужили законодательные и нормативно-правовые акты, публикации отечественных и зарубежных авторов в области анализа логистических систем, материалы научно-практических конференций и научных журналов [1; 11].

#### **Результаты исследований**

Методы линейного программирования нашли широкое применение в области решения таких важных логистических задач, как, например, оптимизация распределения грузопотоков

в системе. Повсеместное использование данного метода обосновано его относительной простотой реализации, а также высокой степенью изученности применительно к логистическим системам. Реализуемые данным методом задачи имеют показатель оптимальности в виде линейной функции от переменных задачи, а ограничительные условия имеют вид линейных равенств или неравенств. Задачи с нелинейными целевыми функциями и ограничительными условиями рассматривает в свою очередь нелинейное программирование [14].

При наличии в задаче нескольких целевых функций, которые при этом могут конфликтовать друг с другом, применяют методы целевого программирования [13].

Для моделирования оптимальных структур сложных логистических систем используется метод целочисленного программирования, что представляет собой расширенный подход к моделированию оптимальных систем, в сравнении с перечисленными методами программирования.

Методика случайного поиска является классическим подходом к исследованию и оптимизации работы любой системы. Основная идея данного метода состоит в том, что базовую (начальную) точку эксперимента выбирают случайным образом и изучают поверхность отклика в районе данной точки. Далее проводится опыт в любой производной точке и показатели отклика сравнивают с начальной точкой и, если ищется максимум, совершают рабочий шаг в направлении возрастания целевой функции. При следующей итерации выбранную пробную точку принимают за начальную и снова проводят этап сравнения и продвижения к экстремуму целевой функции. Методы статистического анализа рассматриваются в научных трудах ведущих российских специалистов [6; 8; 15].

В классическом подходе к моделированию транспортно-логистических систем широко используются методы сетевого моделирования, построенные на теории графов. В математиче-

ской теории графом называется совокупность непустого множества объектов, в частности вершин и связей (отношений) между ними. При этом объекты представляются в качестве вершин, или узлов графа, а связи — как дуги, или ребра. Виды графов в зависимости от области применения могут различаться направлением, ограничениями на количество связей и дополнительными данными о вершинах или ребрах.

Сложная логистическая система, воссозданная в компьютерной модели, воспроизводящей структуру и процессы функционирования реальной системы, является основой имитационного (статистического) моделирования. Данная модель логистической системы позволяет проводить вычислительные действия эксперимента на данной модели, полностью или с определенными допущениями имитируя поведение реальной логистической системы. Важной особенностью имитационных моделей является представление основных показателей функционирования системы не в виде констант, а в виде временных рядов, отражающих динамику процессов, развивающихся в реальных системах. Данный метод моделирования нашел широкое применение в таких направлениях, как расчет оптимальной территориальной логистической сети, прогнозирования ее поведения в динамике, а также при проектировании и размещении предприятий, обучения и тренировки персонала и т. д. [10; 15]

Цель имитационного моделирования состоит в воссоздании на основе данных статистического анализа исследуемой системы, ее элементов или подсистем в виде функционирующей модели. Имитационная модель при этом представляет собой логико-математическое описание объекта, которое может быть использовано для проведения многоитерационных экспериментов в целях проектирования, анализа и оценки функционирования объекта. На рисунке 1 представлена обобщенная схема имитационной модели логистической системы.

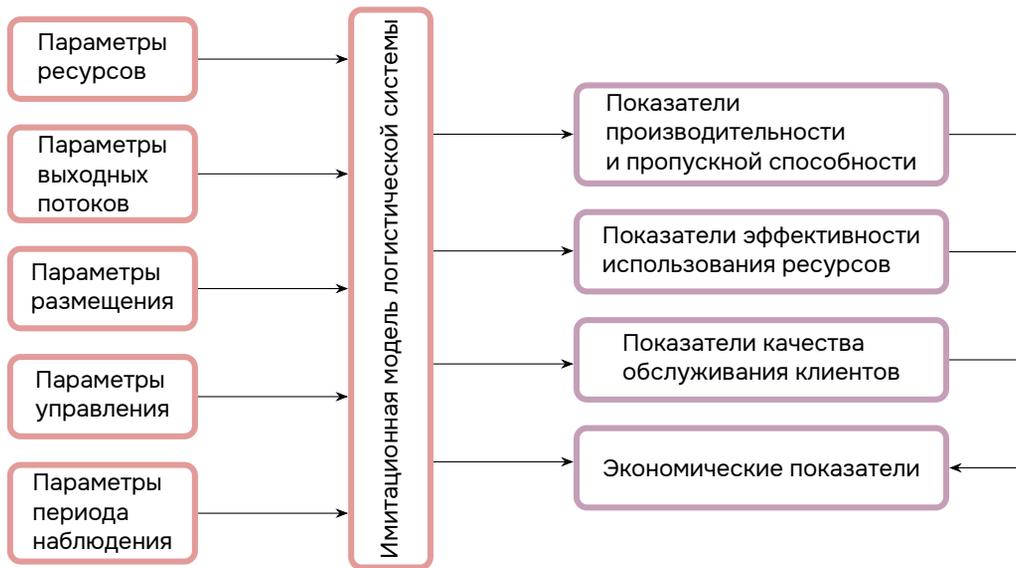
Имитационное моделирование в классическом понимании включает в себя два основных процесса:

- построение модели (симулятора) реальной системы;
- проведение экспериментов на этой модели.

При этом при построении имитационных моделей можно достичь сразу несколько целей — понять поведение логистической системы и выбрать оптимальные параметры системы, при которых достигается эффективное функционирование системы.

Важной предпосылкой к использованию имитационных методов моделирования является тот факт, что логистические системы существуют в условиях неопределенности и риска — такие системы постоянно подвергаются воздействию множества факторов, имеющих стохастический характер. Имитационные модели учитывают такие факторы в своей модели, что позволяет более точно спрогнозировать пути протекания логистических процессов. Имитационное моделирование можно представить поэтапно [5]:

1. Формулировка проблемы: отображение и характеристика изучаемой проблемы, установление целей исследования.
2. Создание модели: логико-математическая характеристика моделируемой системы в зависимости от обозначенной проблемы.
3. Подготовка сведений: идентификация, спецификация и сбор данных.
4. Трансляция модели: перевод модели на тот язык, который является оптимальным и подходящим для той модели компьютера, на которой она будет использоваться.
5. Верификация: определение правильности машинной программы.
6. Валидация: оценка требуемой точности и соответствия имитационной модели реальной системе.
7. Стратегическое и тактическое планирование: установление условий выполнения машинного эксперимента с имитационной моделью.
8. Экспериментирование: просмотр полученной имитационной модели на компьютере с целью получения нужных сведений.
9. Анализ результатов: рассмотрение итогов имитационного эксперимента для разработ-



**Рис. 1.** Обобщенная схема имитационной модели логистической системы.  
Источник: составлено автором по материалам [7].

ки выводов, итогов и рекомендаций по решению обозначенной проблемы.

10. Претворение полученной модели в жизнь и соответствующее документирование: реализация полученных рекомендаций, составленных на основе модели имитации, и разработка соответствующей документации по модели и ее использованию.

Основные преимущества и недостатки имитационного моделирования:

Преимущества

- свободный выбор уровня детализации отображения процессов в модели (действует принцип: могу отобразить в модели всё то, что доступно моему пониманию и что соответствует целям моделирования);
- отсутствие ограничений на сложность логики моделируемых процессов и воспроизводимых в модели алгоритмов управления;
- отсутствие ограничений на структуру и объём исходных данных моделирования.

Недостатки

- большие затраты времени и финансовых средств на приобретение программных пакетов для имитационного моделирования, под-

готовку детальных исходных данных, разработку и проверку (верификацию и валидацию) модели, планирование и проведение имитационных экспериментов и на привлечение экспертов в сфере данной области;

- модель в значительной мере отражает субъективные представления разработчика модели о моделируемой системе (действует принцип: сколько разработчиков, столько и моделей);
- модель, как правило, может быть эффективно применена для исследования только одной системы-оригинала.

Имитационное моделирование позволяет:

- выявить основные экономические, социальные и научно-технические тенденции, оказывающие влияние на потребность в тех или иных видах полезного эффекта;
- выбор показателей, оказывающих существенное влияние на величину полезного эффекта прогнозируемой продукции;
- выбор метода прогнозирования и периода прогноза;
- прогнозирование показателей во времени с учетом влияющих на них факторов.

Существует несколько основных подходов при применении имитационного метода моделиро-

вания, а именно – агентное моделирование, дискретно-событийное моделирование, системная динамика и вероятностное моделирование. Каждый из приведенных методов обладает своим набором положительных и негативных качеств, которые определяют сферу применения каждого метода.

Агентное моделирование является относительно новым направлением в области имитационного моделирования и применяется, в основном, для исследования децентрализованных систем. В данном методе, в отличие от других существующих подходов, моделирование осуществляется «снизу-вверх» – правила и законы функционирования всей системы определяются результатом функционирования ее отдельных элементов или единиц моделирования – агентов.

Все перечисленные методы равноприменимы при моделировании логистических систем и оптимизации логистических операций, но не все логистические задачи можно решить с использованием только одного подхода, часто необходимо комбинировать подходы в пределах одной модели, чтобы достигнуть желаемого результата.

Исходя из этого можно сделать вывод, что для построения полновесных имитационных моделей сложных логистических систем необходимо применять комплексный подход к моделированию [4; 16; 17].

### Библиографический список

1. Алесинская Т. В. Основы логистики. Общие вопросы логистического управления. – Таганрог : Изд-во ТРТУ, 2005.
2. Васильев Ю. С., Диденко Н. И., Черенков В. И. Некоторые проблемы и перспективные драйверы устойчивого развития Арктической зоны Российской Федерации // Север и рынок: формирование экономического порядка. – 2019. – 1 (63). – С. 4–26.
3. Веретенников Н. П. Формирование и развитие логистической инфраструктуры в регионах Арктики // Север и рынок: формирование экономического порядка. – 2019. – 1 (63). – С. 89–98.
4. Гизатуллина О. М. Взаимосвязь бухгалтерского и статистического учета логистических затрат

### Обсуждение результатов

В ходе изучения других научных работ установлено, что многие авторы, в целях моделирования сложных систем, предлагают имитационные методы моделирования.

Исследование Н. В. Клавдиенко и Д. А. Мирошниченко [9] подтвердило целесообразность применения метода статистических испытаний (в сравнении с аналитическими методами) для оптимизации параметров транспортно-складских комплексов.

На наш взгляд, имитационное моделирование может применяться для построения сложных логистических систем, на основе которых возможно проводить анализ и прогнозирование.

### Основные результаты

На основании проведенного исследования можно сделать вывод, что применение методов имитационного моделирования не ограничивается прогнозированием отдельных элементов или малых логистических систем. Применение перечисленных методов в комплексе позволит полностью моделировать огромные логистические системы с рядами сложнонаправленных материальных, информационных и энергетических потоков. Также хочется отметить, что дальнейший виток развития в области моделирования логистических систем и задач возможен благодаря самообучаемым нейросетевым моделям в области науки о больших данных (data science) [2; 3; 19].

5. Гизатуллина О. М., Ушанов И. Г. Способы оптимизации логистических затрат в арктической зоне РФ // Экономические науки. – 2020. – № 192. – С. 280–285.
6. Елисеева И. В. Конкурентоспособность инновационного сектора российской экономики. Оценка результатов реализации стратегии инновационного развития Российской Федерации // III Арригиевские чтения по теме: «Путь России в будущей мировой порядок» : Материалы международной научно-практической конференции. – Орел, 2020. – С. 48–54.

7. Кеворкова Ж. А., Гизатуллина О. М. Модель оптимизации логистических затрат предприятий, функционирующих в арктической зоне РФ // Экономические науки. – 2020. – № 193. – С. 531–534.
8. Киселева Н. П. Методологические проблемы статистической оценки уровня развития региона // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. – 2018. – 5 (111). – С. 51.
9. Клавдиенко Н. В., Мирошниченко Д. А. К вопросу определения оптимальных параметров транспортно-складских комплексов // ИВД. – 2012. – № 4–1.
10. Коровин А. М. Анализ подходов и программного обеспечения для имитационного моделирования социальных и экономических систем // Вестник ЮУрГУ. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2012. – № 35.
11. Лебедюк Э. А. Агентное моделирование: состояние и перспективы // Вестник РЭА им. Г. В. Плеханова. – 2017. – 6 (96).
12. Масликова Т. Е., Редько С. Г. Применение подходов имитационного моделирования для оценки эффективности логистических процессов // Материаловедение. Энергетика. – 2013. – 4–2 (183).
13. Михненко О. Е., Салин В. Н. Проблемы современной трансформации статистики // Учет. Анализ. Аудит. – 2021. – Т. 8, № 4. – С. 18–33.
14. Толмачев М. Н., Земскова О. Н., Нарбут В. В. Факторы влияния на расхождение данных статистики внешней торговли и их значение // Экономические науки. – 2021. – № 202. – С. 241–246.
15. Толуев Ю. И. Имитационное моделирование логистических сетей // Логистика и управление цепями поставок. – 2008. – 2 (25).
16. Цукерман В. А., Горячевская Е. С. Инновационное развитие экономики Арктической зоны Российской Федерации: проблемы и перспективы промышленной и хозяйственной деятельности // Россия: тенденции и перспективы развития. – 2016. – № 11/2.
17. Цукерман В. А., Горячевская Е. С. Об инновационном промышленном потенциале арктической зоны Российской Федерации минерально-сырьевой направленности // РЭУ. – 2015. – 4 (44).
18. Шамис В. А. Некоторые аспекты моделирования в логистике с применением программы Anylogic // Проблемы Науки. – 2017. – 3 (85).
19. Шнайдер О. В., Петров А. М., Боровицкая М. В. Система оценки рисков, обусловленных влиянием суровых климатических условий на экономику Арктической зоны Российской Федерации // Экономические науки. – 2019. – № 171. – С. 134–138.