

# Подходы к построению предсказательных моделей логистических процессов

*Серикбекулы А. <sup>1</sup>, Кормачева О.В. <sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup> Товарищество с ограниченной ответственностью «UP Consulting», Алматы, Республика Казахстан

## АННОТАЦИЯ:

Актуальность работы вызвана стремительным ростом объемов и разнообразия больших данных, используемых в предсказательных моделях, описывающих протекание логистических процессов. В работе изучены традиционные подходы к моделированию, разновидности предсказательных моделей, применяемые в цепочках поставок и внутренней логистике предприятий. Систематизированы методы и виды моделей с определением преимуществ, недостатков и сфер применения. В результате полученных характеристик разработаны требования к идеальной модели логистических процессов, которая будет включать все преимущества и исключать недостатки имеющихся подходов и методов и сформулирована ключевая конечная цель, к которой будет стремиться модель.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** логистические процессы, методы моделирования, предсказательные модели

## Approaches to logistics processes modelling

*Serikbekuly A. <sup>1</sup>, Kormacheva O.V. <sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan

<sup>2</sup> Limited Liability Partnership «UP Consulting»,

## Введение

В современном мире основной проблемой прогнозирования событий, в частности логистических процессов, является тот факт, что объем информации в логистических системах растет быстрыми темпами, причем как в объемах, так и в разновидностях форматов данных. В эту эпоху активного информационного развития перед аналитиками и учеными возникает острая необходимость создания новых методов моделирования, которые могут удовлетворять потребностям эффективности логистического процесса, как внутри предприятия, так и в цепочках поставок в целом.

Объектом исследования в данной работе являются существующие подходы и методы предсказательного моделирования, применяемые к логистическим процессам.

Целью работы является систематизация моделей и методов, позво-

ляющих использовать их в качестве предсказательных по отношению к логистическим процессам.

Методология – кабинетные исследования, сравнительный анализ.

Методический аппарат исследования включает в себя метод кабинетного исследования для изучения информации в книгах и научных статьях о существующих подходах и методах моделирования, применяемых к логистическим процессам, а также метод сравнительного анализа для сопоставления полученной информации и составления сравнительной таблицы.

Новизна работы заключается в том, что при наличии различных подходов и методов моделирования логистических процессов нет систематизированного списка, отражающего основные их характеристики, который можно использовать для выбора подходящего метода для своей компании в той или иной ситуации.

Авторская гипотеза состоит в том, что на сегодняшний день, несмотря на существование множества различных подходов и методов моделирования логистических процессов, нет такого, который бы идеально подходил для логистических систем в любой компании и цепочки поставок в целом.

## Литературный обзор

Предсказательной аналитикой, которую называют также прогнозной или предиктивной, называется *класс методов анализа данных, концентрирующийся на прогнозировании будущего поведения объектов и субъектов с целью принятия оптимальных решений* [1] (Sigel, 2014).

### ABSTRACT:

The relevance of the paper work is caused by the rapid growth in the volume and variety of big data used in predictive models describing the flow of logistics processes. Traditional approaches to modelling, types of predictive models in supply chains and internal logistics of enterprises are studied in the article. Methods and types of models are systematized with the definition of advantages, disadvantages and areas of application. As a result of the obtained characteristics, requirements for an ideal model of logistics processes are developed, which will include all the advantages and exclude the disadvantages of existing approaches and methods; and a key final goal is formulated, which the model will strive for.

**KEYWORDS:** logistics processes, modelling methods, predictive models

JEL Classification: C44, C52, C53

Received: 29.04.2020 / Published: 30.04.2020

© Author(s) / Publication: PRIMEC Publishers  
For correspondence: Serikbekuly A. (sa@analytic.kz)

### CITATION:

Serikbekuly A., Kormacheva O.V. [2020] Podkhody k postroeniyu predskazatelnyh modeley logisticheskikh protsessov [Approaches to logistics processes modelling]. Ekonomika, predprinimatelstvo i pravo. 10. (4). – 1297-1314. doi: 10.18334/epp.10.4.102190

Благодаря активному развитию информационных и компьютерных технологий системы прогнозного анализа используются в различных областях, позволяя реализацию математических методов обработки больших объемов данных [2] (*Shcherbatov, 2019*). Прогнозное моделирование с использованием нейронных сетей и машинного обучения с применением высокоскоростной обработки данных и параллельных вычислений можно считать одним из перспективных направлений предиктивной аналитики [3] (*Bruskin, 2018*).

В современной предсказательной аналитике используются так называемые метамоделли, или суррогатные модели, которые «обучаются» по множеству прототипов входных и выходных данных и имитируют (заменяют) как источники получения данных, так и сами модели [4] (*Burnaev, 2019*).

Наряду с другими отраслями активно развивается применение предиктивной аналитики в области управления цепями поставок для прогнозирования спроса, планирования производства, запасов, дистрибуции, ценообразования, послепродажного обслуживания, то есть на всех этапах цепи [5].

Понятие «логистический процесс» можно рассматривать как в широком, так и в узком смысле.

Если говорить о широком понимании логистического процесса, то он представляет собой совокупность логистических операций и определяется как *организованная во времени и пространстве последовательность выполнения операций, которая подчинена достижению целей хозяйственной системы с применением принципов и методов логистики* [6] (*Golikov, 1999*).

В определении логистического процесса как *упорядоченной на оси времени последовательности логистических операций, направленной на обеспечение потребителей продукцией соответствующего ассортимента и качества в нужном количестве в требуемое время и место* [7] (*Rodnikov, 2011*), также прослеживается представление логистического процесса как множества взаимосвязанных логистических операций.

В случае же рассмотрения логистического процесса в более узком понимании его можно приравнять к понятию логистической операции [8] (*Toluev, 2005*).

Логистические процессы имеют место не только в торговых и транспортных предприятиях или складских объектах, которые традиционно принято считать логистическими, но и в любых других областях, где наблюдается движение большого количества материальных объектов [8] (*Toluev, 2005*).

#### **ОБ АВТОРАХ:**

*Серикбекулы Асхат*, магистр экономических наук, докторант PhD (sa@analytic.kz)

*Кормачева Олеся Викторовна*, аналитик (ko@analytic.kz)

#### **ЦИТИРОВАТЬ СТАТЬЮ:**

Серикбекулы А., Кормачева О.В. Подходы к построению предсказательных моделей логистических процессов // Экономика, предпринимательство и право. – 2020. – Том 10. – № 4. – С. 1297-1314. doi: 10.18334/ep.10.4.102190

Для построения системы предсказательной аналитики могут быть использованы различные подходы, методы и модели, которые будут рассмотрены в данной работе.

Дерево решений – метод, который применяется при необходимости принятия последовательного ряда решений в условиях риска. Дерево решений позволяет увязать точки принятия решения, возможные стратегии и их последствия с учетом влияния факторов среды. Дерево решений отображает возможные действия и их последствия, а его конечной целью является создание модели, предсказывающей значение целевой переменной на основе нескольких переменных на входе [9] (*Trofimova, Trofimov, 2012*).

Метод деревьев решений является одним из наиболее популярных методов решения задач классификации и прогнозирования. Деревья решений применяются для представления правил, имеющих логическую структуру «если... то ...», в иерархической, последовательной структуре, где каждому объекту соответствует единственный узел, дающий решение [10] (*Yakovlev, Seredin, 2018*).

Цепи Маркова – стохастическая модель, описывающая последовательность возможных событий, в которой вероятность каждого события зависит только от состояния, достигнутого в предыдущем событии [11] (*Stivensov, Ueyt, 2011*).

Марковские цепи с заданным интервалом времени и начальным распределением, с последующим расчетом будущего состояния применяются к сериям зависимых случайных величин [12] (*Tyan, Rakhmangulov, Muravyov, Van, 2018*).

Теория игр – это математическая теория стратегии, которая предполагает существование по меньшей мере двух игроков, выбор которых определяет исход. Конфликт игроков, связанный с противоречивыми предпочтениями, в рамках данной теории может быть частичным, когда оба игрока могут быть в выигрыше или же, напротив, в проигрыше. В основе теории игр – стратегии игроков, которые находятся в равновесии [13] (*Neyman, Morgenshtern, 1970*).

Модели теории игр могут быть применены и к экономике, так как интересы участников экономических процессов могут не совпадать, и даже быть конфликтными, и каждый игрок решает свою локальную задачу, пытаясь максимизировать свою собственную прибыль. В результате система приходит в какое-то равновесное состояние. С помощью равновесной ситуации можно определить оптимальное решение игры [14] (*Ganicheva, Ganichev, 2019*).

Системная динамика – модель, в рамках которой процессы, происходящие в мире, представляются в виде накопителей и потоков между ними. Такая модель описывает структуру и поведение системы посредством множества взаимодействующих связей и задержек, и в качестве результата выявляет и показывает зависимости и причинно-следственные связи моделируемой системы [15, 16] (*Shterman, 2000; Skorodumov, 2015*).

Системная динамика позволяет описывать сложные системы естественным образом, минимизируя математические расчеты, что делает ее своеобразным прорывом в моделировании сложных систем [17] (*Tregubov, Slavnetskova, 2020*).

В настоящее время системная динамика широко распространена и ее методы применяются в различных сферах – экологической политике, городском планировании,

экономической политике, транспортных технологиях и многих других [17] (*Tregubov, Slavnetskova, 2020*).

Дискретно-событийное моделирование представляет систему в виде хронологической последовательности событий, происходящих в определенный момент времени и являющихся показателями изменения системы – продвижение по модели происходит либо от события к событию, либо через дискретные промежутки времени [16, 18] (*Skorodumov, 2015; Lou, Kelton, 2000*).

Дискретно-событийное моделирование сосредоточено на описании процессов, которые описываются как дискретные потоки событий. Значимыми считаются события, которые вносят в характер течения процесса значимые изменения и образуют дискретный поток значимых событий, а незначимые события остаются за рамками модельной абстракции [19] (*Ramazanov, 2017*).

Агентное моделирование – подход, основной идеей которого является получении представления о глобальных правилах функционирования всей системы, исходя из индивидуального поведения ее отдельных активных объектов и их взаимодействия [16] (*Skorodumov, 2015*).

Агентная модель состоит из множества индивидуальных агентов и их окружения. Каждый агент может взаимодействовать как с другими агентами, так и с внешней средой и может изменять свое поведение и внешнюю среду в процессе функционирования [20] (*Gaykova, 2019*).

В агентном моделировании применяется принцип репрезентации объектов «снизу-вверх», то есть акцент делается не на макро-, а на микроуровень, когда правила поведения задаются для каждого из агентов, которыми могут быть любые автономные сущности из реального мира, взятые в интересующей исследователя системе отношений, а общая динамика системы является следствием совокупности взаимодействий этих агентов [19] (*Ramazanov, 2017*).

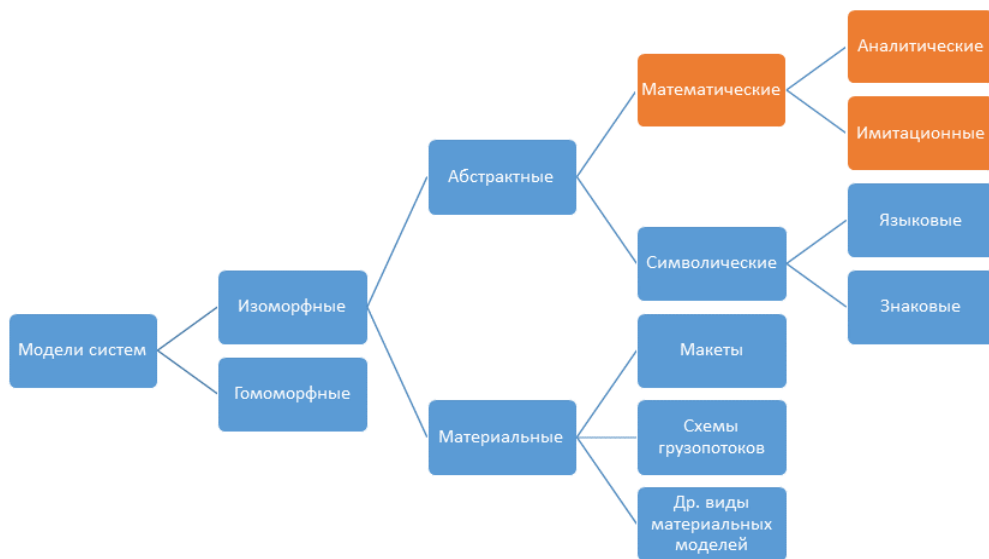
Анализ выживаемости представляет собой набор статистических процедур для анализа данных, в которых интересующей переменной результата является время до события [21] (*Klyaynbaum, Klyayn, 2012*).

Анализ выживаемости является одним из самых распространенных методов статистического анализа в медицине [22] (*Zulkarnaev, 2019*).

Несмотря на то, что данный подход к моделированию чаще всего используется в области медицины и изначально применялся для оценки продолжительности жизни пациентов при изучении эффективности методов лечения, на сегодняшний день анализ выживаемости применяется и во многих других отраслях [21] (*Klyaynbaum, Klyayn, 2012*).

## Основные результаты

Глобальная и ключевая цель моделирования заключается в прогнозировании поведения процесса или системы. В зависимости от того, насколько точно и в полной мере



**Рисунок 1.** Классификация моделей логистических систем

Источник: составлено авторами на основе данных из источников [23, 24] (Gadzhinskiy, 2012; Melnikov, Skhirtladze, Antonyuk, 2015).

модель отображает моделируемый объект, модели подразделяются на изоморфные и гомоморфные [23, 24] (Gadzhinskiy, 2012; Melnikov, Skhirtladze, Antonyuk, 2015) (рис. 1).

Изоморфные модели – это модели, которые максимально точно отображают моделируемые объекты (процессы, системы), их характеристики, особенности и могут быть эквивалентной их заменой [23, 24] (Gadzhinskiy, 2012; Melnikov, Skhirtladze, Antonyuk, 2015).

Гомоморфные модели отображают моделируемый процесс частично, допуская не принимать во внимание абсолютно все характеристики объекта и влияющие факторы. Несмотря на меньшую точность, данная разновидность моделей является более применимой к логистическим процессам, так как построение изоморфной модели является практически невозможным из-за огромного множества факторов, оказывающих на них влияние. Также гомоморфные модели являются более простыми и универсальными в построении и применении [23, 24] (Gadzhinskiy, 2012; Melnikov, Skhirtladze, Antonyuk, 2015).

В свою очередь, гомоморфные модели в зависимости от степени материальности делятся на материальные и абстрактные. Материальные модели предполагают воспроизведение функциональных, физических, геометрических и динамических характеристик моделируемого объекта и являются весьма дорогостоящими, в связи с чем

большей популярностью и применением в логистике пользуются именно абстрактные модели [23, 24] (*Gadzhinskiy, 2012; Melnikov, Skhirtladze, Antonyuk, 2015*).

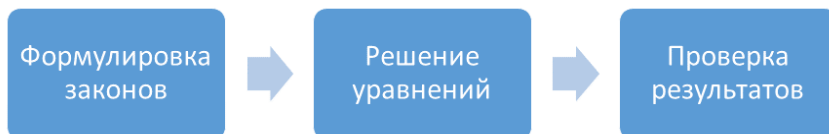
Среди абстрактных моделей можно выделить символические и математические. Наиболее широко применяются в логистике именно математические модели таких разновидностей, как аналитические и имитационные, которые мы рассмотрим более подробно [23, 24] (*Gadzhinskiy, 2012; Melnikov, Skhirtladze, Antonyuk, 2015*).

Аналитическое моделирование – это математический подход к исследованию логистических систем, целью которого является получение максимально точных решений. В процессе моделирования с использованием данного подхода необходимо выполнение следующих этапов [25] (*Nikolaychuk, 2017*):

Формулировка математических законов, связывающих объекты моделируемой системы, в виде алгебраических, дифференциальных и других функциональных соотношений.

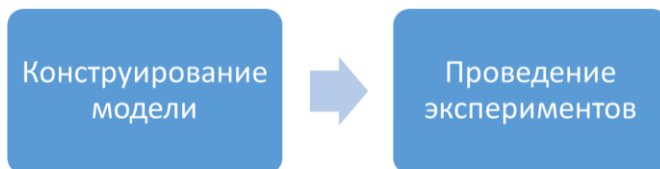
Решение уравнений с возможным использованием вычислительной техники и получение теоретических результатов.

Проверка полученных теоретических результатов и сопоставление их с практикой [25] (*Nikolaychuk, 2017*) (рис. 2).



**Рисунок 2.** Процесс аналитического моделирования

Источник: составлено авторами на основе данных из источников [23, 24] (*Gadzhinskiy, 2012; Melnikov, Skhirtladze, Antonyuk, 2015*).



**Рисунок 3.** Процесс имитационного моделирования

Источник: составлено авторами на основе данных из источников [23, 24] (*Gadzhinskiy, 2012; Melnikov, Skhirtladze, Antonyuk, 2015*).

Имитационное моделирование предполагает проведение экспериментов с математической моделью, которая описывает поведение системы в течение определенных периодов времени, с использованием информационных технологий. В случае

применения данного вида моделирования логистических процессов закономерно-сти, определяющие характер количественных отношений внутри этих процессов, остаются неопознанными (метод «черного ящика») – экспериментатор может лишь менять условия протекания процесса и наблюдать получаемый результат. Конечной целью имитационной модели является определение таких оптимальных условий, при которых результат будет максимально удовлетворять заявленным требованиям [23, 3] (*Gadzhinskiy, 2012; Bruskin, 2018*).

Имитационное моделирование обычно проводится в два этапа [25] (*Nikolaychuk, 2017*):

- Конструирование модели реальной логистической системы.
- Проведение экспериментов на данной модели (*рис. 3*).

Для определения наиболее подходящего вида моделирования, применимого к логистическим процессам, авторами составлена сравнительная таблица, в которой представлены их основные преимущества и недостатки (*табл. 1*).

*Таблица 1*

#### Сравнение аналитического и имитационного моделирования логистических процессов

	Аналитическое моделирование	Имитационное моделирование
Преимущества	Возможность обобщения Множественность использования	Применимо к сложным системам Учитывает воздействие случайных факторов на систему
Недостатки	Неприменимо для сложных систем Неприменимо или слишком дорогостоящее при условии учета случайных факторов	Высокая стоимость Ориентация на конкретные условия, невозможность тиражирования Большая вероятность ложной имитации

*Источник:* составлено авторами на основе данных из источников [23, 24] (*Gadzhinskiy, 2012; Melnikov, Skhirtladze, Antonyuk, 2015*).

В связи с тем, что логистические системы функционируют в условиях неопределенности окружающей среды и подвергаются воздействию множества факторов, в том числе имеющих случайный характер, имитационное моделирование, учитывая его способность учитывать подобные факторы, может более точно спрогнозировать сценарии протекания логистических процессов. Но стоит также учитывать и определенные недостатки данного метода, такие как высокая стоимость и невозможность масштабирования [23, 25] (*Gadzhinskiy, 2012; Nikolaychuk, 2017*).

Помимо сравнения аналитического и имитационного моделирования логистических процессов рассмотрим также и конкретные наиболее популярные подходы и теории (*табл. 2*).



Таблица 2

Подходы к моделированию логистических процессов

Название подхода	Основные представители	Ключевой элемент	Вид	Преимущества	Недостатки	Область применения
Дерево решений	К. Ховеленд, Е. Хант, Дж. Р. Куинлен	Процесс принятия решений	Аналитическое моделирование	Простота понимания и интерпретации Не требует подготовки данных Надежность Работа с большими базами данных без специального оборудования	Недостаточная полнота представления данных Не обеспечивается оптимальность всего дерева в целом за счет выбора решений локально в каждом узле	Машинное обучение Анализ данных Статистика Банковское дело Промышленность Медицина Торговля Молекулярная биология
Цепи Маркова	А.А. Марков	Вероятность наступления событий	Аналитическое моделирование	Простота моделирования Единоеобразие анализа и проектирования	Невозможность моделирования процессов с длинной памятью Узкая применимость моделей	Теория очередей Статистика Биология Информатика
Теория игр	Дж. Нейман О. Моргенштерн Дж. Нэш Р. Фишер Дж. М. Смит Э. Борель Р. Зелтен Дж. Харсаньи	Выбор оптимальной стратегии	Аналитическое моделирование	Возможность представить проблему с точки зрения конкурентов	Не всегда можно предсказать выигрыш Игроки могут не придерживаться правильной стратегии, а играть хаотично	Международные отношения Экономика Социология Политология Психология Этика Юриспруденция
Системная динамика	Дж. Форрестер Дж. Штерман Д. Мидоус	Поведение системы во времени и с учетом взаимозависимости ее элементов	Имитационное моделирование	Хорошая интерпретируемость системных потоковых диаграмм Позволяет проводить исследование при условии изменений во времени	Не учитываются качественные изменения системы Не в состоянии предсказать развитие при условии возникновения случайностей (кризисы, революции и т.п.)	Энергетика Проектный менеджмент Здравоохранение Экология Государственное управление

Окончание табл. 2

Название подхода	Основные представители	Ключевой элемент	Вид	Преимущества	Недостатки	Область применения
				параметров системы и внешней среды Позволяет учитывать субъективные предпочтения эксперта и его опыт в процессе принятия решения		Управленческий консалтинг
Дискретно-событийное моделирование	Дж. Гордон	Последовательность операций	Имитационное моделирование	Возможность анализа результатов на каждом этапе	Не учитывает непрерывность процесса и взаимозависимость элементов	Торговля Недвижимость Телеком Полиграфия Страхование Финансы ИТ Государственное управление
Агентное моделирование	Т. Шеллинг	Поведение агентов	Имитационное моделирование	Простота сопровождения	Практическая сложность реализации, трудоемкость в построении и калибровке	Банковское дело Торговля Услуги, сервис Страхование Экономика
Анализ выживаемости	Каплан Мейер	Вероятность наступления события	Аналитическое моделирование	Справляется с цензурированными данными	Не позволяет сравнить выживаемость между группами, т.е. оценить достоверность различий	Медицина Страхование Социальные науки Промышленность Экономика

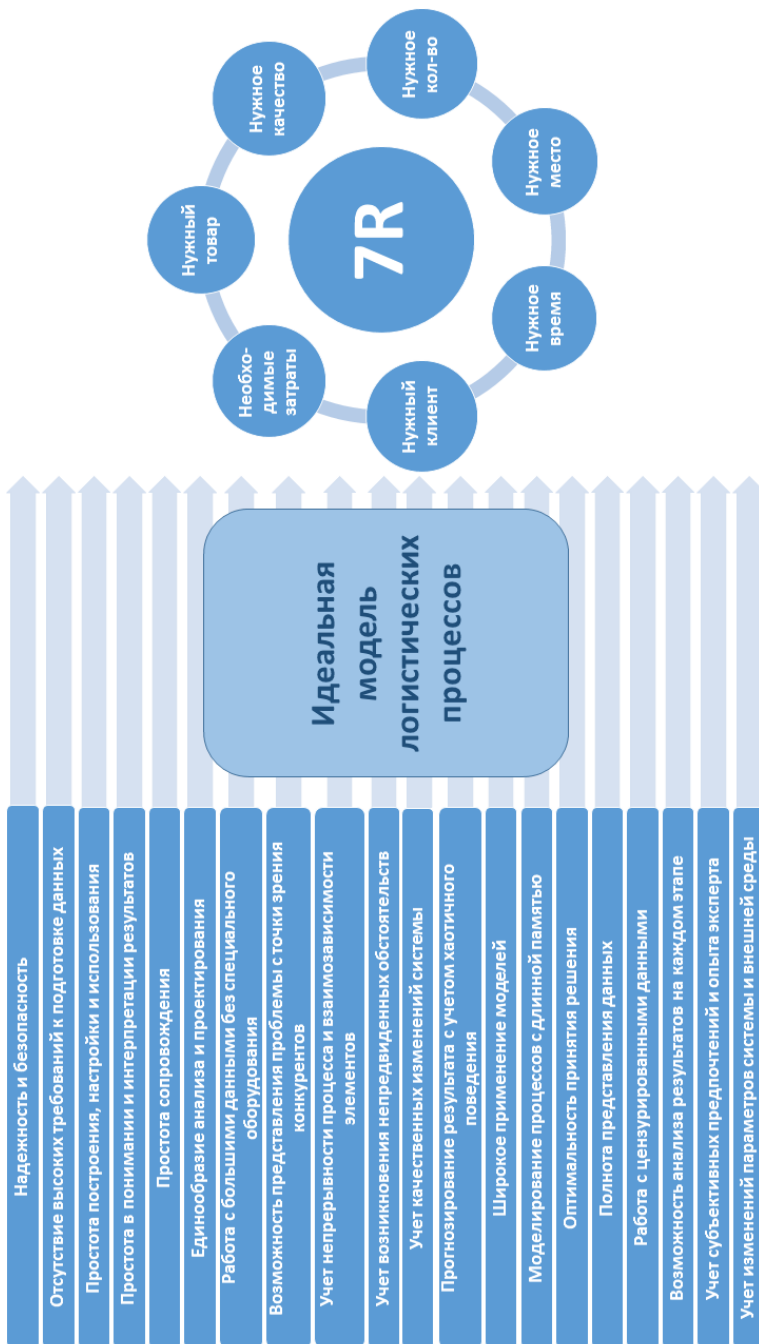
Источники: составлено авторами на основе данных из источников [9–21] (Трофимова, Трофимов, 2012; Yakovlev, Seredin, 2018; Stivensov, Ueyf, 2011; Туан, Rakhmangulov, Mirayuyov, Van, 2018; Neyman, Morgenshitern, 1970; Ganicheva, Ganichev, 2019; Shterman, 2000; Skorodumov, 2015; Tregubov, Slavnetskova, 2020; Lou, Kelton, 2000; Ramazanov, 2017; Gaykova, 2019; Klyunbaum, Klyun, 2012).

В конечном итоге можно увидеть, что на сегодняшний день существует множество методов и моделей, также и кроме описанных в данной статье, которые так или иначе могут быть применены к моделированию логистических процессов. Каждый подход имеет свои особенности, преимущества и недостатки, и на данный момент не существует такого метода, который бы идеально подходил для моделирования логистических систем и процессов.

На основе проведенного анализа можно сказать о том, что идеальной для моделирования логистических процессов будет такая модель, которая будет включать в себя преимущества и исключать недостатки всех рассмотренных подходов и методов, а именно:

1. Надежность и безопасность.
2. Отсутствие высоких требований к подготовке данных.
3. Простота построения, настройки и использования.
4. Простота в понимании и интерпретации результатов моделирования.
5. Единообразии анализа и проектирования.
6. Работа с большими объемами данных без необходимости наличия дополнительного специального оборудования.
7. Возможность представления проблемы с точки зрения конкурентов.
8. Интерпретируемость системных потоковых диаграмм.
9. Учет изменений во времени параметров системы и внешней среды.
10. Учет субъективных предпочтений и опыта эксперта в процессе принятия решений.
11. Возможность анализа результатов на каждом этапе.
12. Простота сопровождения.
13. Работа с цензурированными данными.
14. Полнота представления данных.
15. Оптимальность принятия решения в рамках всей системы.
16. Моделирование процессов с длинной памятью.
17. Широкое применение моделей.
18. Прогнозирование результата с учетом хаотичного поведения субъектов модели.
19. Учет качественных изменений системы.
20. Учет возникновения непредвиденных обстоятельств.
21. Учет непрерывности процесса и взаимозависимости элементов системы.

Логистическая система в любой компании должна быть построена таким образом, чтобы соблюдать главное правило логистики – правило «7R», которое в некоторых источниках называется логистическим миксом и заключается в обеспечении наличия необходимого товара определенного качества в необходимом количестве своевременно и в нужном местоположении конкретному потребителю с требуемым уровнем затрат [26] (Moiseeva, 2008).



**Рисунок 4.** Идеальная модель логистических процессов  
 Источник: составлено авторами на основе проведенного в данной работе исследования.

И несомненно, идеальная модель логистических процессов помимо обладания перечисленными преимуществами должна иметь своей обязательной и ключевой целью соблюдение правила логистики «7R». Перечисленные элементы и характеристики идеальной модели представлены на *рисунке 4*.

На сегодняшний день идеальной модели с указанными признаками не существует, но учитывая активное развитие искусственного интеллекта, машинного обучения и методов обработки больших данных за последние несколько лет, создание такой модели возможно в ближайшем будущем.

### Заключение

В результате проведенного исследования были изучены основные разновидности моделирования процессов, а также наиболее популярные подходы, методы и модели, применяемые при моделировании логистических процессов, систематизированы знания и классификация данных методов и моделей, выявлены их основные преимущества и недостатки. На основе полученных знаний разработаны требования, которым должна соответствовать будущая идеальная модель логистических процессов. Она должна включать все преимущества имеющихся методов и подходов, не иметь описанных недостатков и своей главной целью иметь соблюдение основного правила логистики «7R».

Обобщенное описание существующих подходов к моделированию процессов поможет авторам, осуществляющим дальнейшие исследования в данной области, и может быть использовано в качестве выбора подходящего метода моделирования.

Проблемой, выявленной в ходе работы, является отсутствие на данный момент метода моделирования, который бы идеально подходил для применения ко всем логистическим процессам и отвечал всем имеющимся требованиям.

Авторы в качестве решения данной проблемы предлагают перечень требований, которые должна включать идеальная модель, который может быть использован учеными для ее дальнейшей разработки.

Возможные направления дальнейших исследований лежат в плоскости создания на основе предложенных требований и характеристик, полученных в ходе исследования, идеального метода моделирования логистических процессов учеными в области разработки имитационных и аналитических моделей с использованием больших данных, искусственного интеллекта и машинного обучения и реализации описанной модели.

### ИСТОЧНИКИ:

1. Сигель Э. Просчитать будущее: Кто кликнет, купит, соврёт или умрёт. - М.: Альпина Пабlishер, 2014. - 374 с.
2. Щербатов И.А. Современное состояние проблемы разработки систем предиктивной аналитики в энергетике // Журнал передовых исследований в области технических наук. - 2019. - № 14-2. - с. 118-123. - doi: 10.26160/2474-5901-2019-14-118-123 .

3. Брускин С.Н. Модели и инструменты предиктивной аналитики для цифровой корпорации // Вестник Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова. – 2018. – № 5(95). – с. 135-139.
4. Бурнаев Е.В. Алгоритмические основы предиктивной аналитики в задачах индустриального проектирования // Информационные процессы. – 2019. – № 3. – с. 249-270.
5. Предиктивная аналитика в управлении цепями поставок // Научный вестник Южного института менеджмента. – 2019. – № 2(26). – с. 18-22. – doi: 10.31775/2305-3100-2019-2-18-22 .
6. Голиков Е.А. Маркетинг и логистика. / Учебное пособие. - М.: Издательский Дом «Дашков и К», 1999.
7. Родников А.Н. Логистика. / Терминологический словарь. - М.: ИНФРА-М, 2011. – 322 с.
8. Толуев Ю.И. Применение имитационного моделирования для исследования логистических процессов. Имитационное моделирование. Теория и практика // Имитационное моделирование. Теория и практика: Сб. Второй всероссийской научно-практической конференции. СПб., 2005. – с. 71-76.
9. Трофимова Л.А., Трофимов В.В. Методы принятия управленческих решений. / Учебное пособие. - СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2012. – 101 с.
10. Яковлев С.С., Середин О.С. Использование деревьев решений при визуализации многомерных данных // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2018. – № 10. – с. 137-145.
11. Стивенсон А., Уэйт М. Краткий Оксфордский словарь английского языка. / 12-е изд. - Издательство Оксфордского университета, 2011.
12. Тянь Ю., Рахмангулов А.Н., Муравьев Д.С., Ван С. Алгоритм прогнозирования моментов времени прибытия городских пассажирских автобусов на основе марковских цепей // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2018. – № 2. – с. 29-37. – doi: 10.18503/2222-9396-2018-8-2-29-37 .
13. Нейман Дж. фон, Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение. – М.: Наука, 1970. – 708 с.
14. Ганичева А.В., Ганичев А.В. Модели теории игр в экономике и бизнесе // Эпоха науки. – 2019. – № 20. – с. 587-590. – doi: 10.24411/2409-3203-2019-20123 .
15. Штерман Дж. Бизнес-процессы: Системное мышление и моделирование сложного мира. – Бостон: Irwin/McGraw-Hill, 2000.
16. Скородумов П.В. Имитационное моделирование экономических систем: программные средства и направления их совершенствования // Проблемы развития территории. – 2015. – № 2(76). – с. 62-72.
17. Трегубов В.Н., Славнецкова Л.В. Моделирование инновационных процессов на городском транспорте с использованием методов системной динамики // Известия саратовского университета. Новая серия. Серия: экономика. Управление. Право. – 2020. – № 1. – с. 29-37. – doi: 10.18500/1994-2540-2020-20-1-29-37.

18. Лоу А.М., Кельтон В.Д. Имитационное моделирование и анализ. / 3-е изд. - McGraw-Hill, 2000.
19. Рамазанов Р.Р. Сравнительная характеристика подходов имитационного моделирования общественных процессов // Вестник УГНТУ. Наука, образование, экономика. Серия экономика. – 2017. – № 20. – с. 67-77.
20. Гайкова Л.В. Агентное моделирование как инструмент исследования экспертной оценки объекта // Экономика и бизнес: теория и практика. – 2019. – № 2. – с. 27-30. – doi: 10.24411/2411-0450-2019-10616 .
21. Кляйнбаум Д. Дж., Кляйн М. Анализ выживаемости. / 3-е изд. - Springer, 2012.
22. Зулъкарнаев А.Б. Особенности анализа выживаемости на примере пациентов в «листе ожидания» трансплантации почки // Бюллетень сибирской медицины. – 2019. – № 2. – с. 215-222. – doi: 10.20538/1682-0363-2019-2-215-222 .
23. Гаджинский А.М. Логистика. / Учебник. 20-е изд. - М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2012. – 484 с.
24. Мельников В.П., Схиртладзе А.Г., Антонюк А.К. Логистика. / учебник для среднего профессионального образования. - Москва: Издательство Юрайт, 2015. – 287 с.
25. Николайчук В.Е. Логистический менеджмент. / Учебник. 2-е изд. - М.: Дашков и К, 2017. – 980 с.
26. Моисеева Н.К. Экономические основы логистики. / Учебник. - М.: ИНФРА-М, 2008. – 528 с.

## REFERENCES:

- Prediktivnaya analitika v upravlenii tsepyami postavok* [Predictive analytics in supply chain management]. (2019). *The scientific bulletin of the Southern Institute of Management*. (2(26)). 18-22. (in Russian). doi: 10.31775/2305-3100-2019-2-18-22 .
- Bruskin S.N. (2018). *Modeli i instrumenty prediktivnoy analitiki dlya tsifrovoy korporatsii* [Models and predictive analytics tools for digital corporation]. *Bulletin of Plekhanov Russian University of Economics*. (5(95)). 135-139. (in Russian).
- Burnaev E.V. (2019). *Algoritmicheskie osnovy prediktivnoy analitiki v zadachakh industrialnogo proektirovaniya* [On construction of early warning systems for predictive maintenance in aerospace industry]. *Informatsionnye protsessy*. 19 (3). 249-270. (in Russian).
- Gadzinskiy A.M. (2012). *Logistika* [Logistics] М.: Izdatel'sko-torgovaya korporatsiya «Dashkov i K°». (in Russian).
- Ganicheva A.V., Ganichev A.V. (2019). *Modeli teorii igr v ekonomike i biznese* [Game theory models in economics and business]. *Epokha nauki*. (20). 587-590. (in Russian). doi: 10.24411/2409-3203-2019-20123 .
- Gaykova L.V. (2019). *Agentnoe modelirovanie kak instrument issledovaniya ekspertnoy otsenki obekta* [Agent modeling as a research tool for the expert assessment of the object]. *Economics and business: theory and practice*. 5 (2). 27-30. (in Russian). doi: 10.24411/2411-0450-2019-10616 .

- Golikov E.A. (1999). *Marketing i logistika* [Marketing and logistics] M.: Izdatelskiy Dom «Dashkov i K». (in Russian).
- Klyaynbaum D. Dzh., Klyayn M. (2012). *Analiz vyzhivaemosti* [Survival analysis] Springer. (in Russian).
- Lou A.M., Kelton V.D. (2000). *Imitatsionnoe modelirovanie i analiz* [Simulation modeling and analysis] McGraw-Hill. (in Russian).
- Melnikov V.P., Skhirtladze A.G., Antonyuk A.K. (2015). *Logistika* [Logistics] Moscow: Izdatelstvo Yurayt. (in Russian).
- Moiseeva N.K. (2008). *Ekonomicheskie osnovy logistiki* [Economic fundamentals of logistics] M.: INFRA-M. (in Russian).
- Neyman Dzh. fon, Morgenshtern O. (1970). *Teoriya igr i ekonomicheskoe povedenie* [Theory of games and economic behaviour] M.: Nauka. (in Russian).
- Nikolaychuk V.E. (2017). *Logisticheskii menedzhment* [Logistics management] M.: Dashkov i K. (in Russian).
- Ramazanov R.R. (2017). *Sravnitel'naya kharakteristika podkhodov imitatsionnogo modelirovaniya obshchestvennykh protsessov* [Comparative analysis of different simulation modeling approaches for public processes]. *Vestnik UGNTU. Nauka, obrazovanie, ekonomika. Seriya ekonomika*. 2 (20). 67-77. (in Russian).
- Rodnikov A.N. (2011). *Logistika* [Logistics] M.: INFRA-M. (in Russian).
- Scherbatov I.A. (2019). *Sovremennoe sostoyanie problemy razrabotki sistem prediktivnoy analitiki v energetike* [Current state of predictive analytics systems development in the energy sector]. *Zhurnal peredovykh issledovaniy v oblasti tekhnicheskikh nauk*. (14-2). 118-123. (in Russian). doi: 10.26160/2474-5901-2019-14-118-123 .
- Shterman Dzh. (2000). *Biznes-protsessy: Sistemnoe myshlenie i modelirovanie slozhnogo mira* [Business processes: system thinking and modeling of a complex world] Boston: Irwin/McGraw-Hill. (in Russian).
- Sigel E. (2014). *Proschitat budushchee: Kto kliknet, kupit, sovryot ili umryot* [To calculate the future: Who will click, buy, lie or die] M.: Alpina Publisher. (in Russian).
- Skorodumov P.V. (2015). *Imitatsionnoe modelirovanie ekonomicheskikh sistem: programmnye sredstva i napravleniya ikh sovershenstvovaniya* [Simulation modelling of economic systems: software tools and areas of improvement]. *Problems of Territory's Development*. (2(76)). 62-72. (in Russian).
- Stivenson A., Ueyt M. (2011). *Kratkiy Oksfordskiy slovar angliyskogo yazyka* [Concise Oxford English dictionary] Izdatelstvo Oksfordskogo universiteta. (in Russian).
- Toluev Yu.I. (2005). *Primenenie imitatsionnogo modelirovaniya dlya issledovaniya logisticheskikh protsessov. Imitatsionnoe modelirovanie. Teoriya i praktika* [Application of simulation modeling for the study of logistics processes. Simulation modeling. Theory and practice] *Simulation modeling. Theory and practice*. 71-76. (in Russian).



- Tregubov V.N., Slavnetskova L.V. (2020). *Modelirovanie innovatsionnyh protsessov na gorodskom transporte s ispolzovaniem metodov sistemnoy dinamiki* [Modelling of Innovation Process on Urban Public Transport by System Dynamics]. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Ekonomika. Upravlenie. Pravo.* 20 (1). 29-37. (in Russian). doi: 10.18500/1994-2540-2020-20-1-29-37.
- Trofimova L.A., Trofimov V.V. (2012). *Metody prinyatiya upravlencheskikh resheniy* [Methods of managerial decision-making] SPb.: Izd-vo SPbGUEF. (in Russian).
- Tyan Yu., Rakhmangulov A.N., Muravyov D.S., Van S. (2018). *Algoritm prognozirovaniya momentov vremeni pribytiya gorodskikh passazhirskikh avtobusov na osnove markovskikh tsepey* [Bus Arrival Time Prediction Algorithm Based on Markov Chain]. *Sovremennye problemy transportnogo kompleksa Rossii.* 8 (2). 29-37. (in Russian). doi: 10.18503/2222-9396-2018-8-2-29-37 .
- Yakovlev S.S., Seredin O.S. (2018). *Ispolzovanie derevev resheniy pri vizualizatsii mnogomernykh dannykh* [Using decision tree algorithms in multidimensional scaling]. \. (10). 137-145. (in Russian).
- Zulkarnaev A.B. (2019). *Osobennosti analiza vyzhivaemosti na primere patsientov v «liste ozhidaniya» transplantatsii pochki* [Features of survival analysis on patients on the \]. *Byulleten sibirskoy meditsiny.* 18 (2). 215-222. (in Russian). doi: 10.20538/1682-0363-2019-2-215-222 .

