

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ПРИМЕНЕНИЯ ЛОГИКО-ВЕРОЯТНОСТНЫХ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МОНТЕ-КАРЛО ДЛЯ АНАЛИЗА ЭКСПЛУАТАЦИИ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Левкина Н.И., Евтюков С.А.

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург*

Ключевые слова: логико-вероятностные модели, имитационное моделирование, метод Монте-Карло, транспортно-технологический комплекс, оптимизация эксплуатации наземных транспортно-технологических комплексов, управление рисками, повышение эффективности работы транспортных комплексов.

Аннотация. В статье рассматриваются логико-вероятностные модели и метод имитационного моделирования Монте-Карло как инструменты для оптимизации эксплуатации наземных транспортно-технологических комплексов. Оценивается их значимость в условиях растущей сложности транспортных систем и увеличения объемов грузоперевозок. Оценивается возможность и целесообразность применения описанных методов при проектировании и эксплуатации наземных транспортно-технологических машин и комплексов. Приведены примеры применения данных методов для решения задач, связанных с прогнозированием, управлением рисками и повышением эффективности работы транспортных комплексов. Исследование включает анализ существующих подходов, примеры применения, результаты экспериментальных исследований и выводы о целесообразности использования логико-вероятностных моделей и метода Монте-Карло в современных условиях при проектировании и эксплуатации наземных транспортно-технологических машин и комплексов.

OBJECTIVES AND TASKS OF USING LOGICAL-PROBABILISTIC MODELS AND THE MONTE CARLO SIMULATION METHOD FOR ANALYZING THE OPERATION OF GROUND-BASED TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL COMPLEXES

Levkina N.I., Evtukov S.A.

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint-Petersburg

Keywords: logical and probabilistic models, simulation modeling, Monte Carlo method, transport and technological complex, optimization of operation of ground transport and technological complexes, risk management, increasing the efficiency of transport complexes.

Abstract. The article considers logical-probabilistic models and the Monte Carlo simulation method as tools for optimizing the operation of ground transport and technological complexes. Their importance is assessed in the context of the growing complexity of transport systems and increasing volumes of freight traffic. The possibility and feasibility of using the described methods in the design and operation of ground transport and technological machines and complexes is assessed. Examples of using these methods to solve problems related to forecasting, risk management and improving the efficiency of transport complexes are given. The study includes an analysis of existing approaches, application examples, experimental research results and conclusions on the feasibility of using logical-probabilistic models and the Monte Carlo method in modern conditions in the design and operation of ground transport and technological machines and complexes. The study includes an analysis of existing approaches, the results of experimental studies and conclusions about the feasibility of using logical-probabilistic models and the Monte Carlo method in modern conditions.

Введение. Современные наземные транспортно-технологические комплексы (НТТК) сталкиваются с множеством вызовов, включая увеличение объемов перевозок, необходимость повышения эффективности и снижение затрат. В условиях динамично меняющейся среды и неопределенности принятие обоснованных решений становится критически важным. Логико-вероятностные модели и метод имитационного моделирования Монте-Карло представляют собой мощные инструменты, которые позволяют анализировать сложные системы и оценивать риски.

Цель – исследовать применение логико-вероятностных моделей и метода Монте-Карло для оптимизации эксплуатации НТТК.

Задачи исследования

1. Анализ существующих подходов к моделированию транспортных систем.
2. Оценка эффективности применения логико-вероятностных моделей.
3. Исследование возможностей метода Монте-Карло в контексте НТТК.
4. Приведение примеров практического применения данных методов.

Материалы и методы исследования

В проведении исследования на приведенную тему использовались общедоступные материалы, литературные источники и программное обеспечение Python.

Логико-вероятностные модели представляют собой подход к моделированию систем, основанный на использовании логических и вероятностных методов для анализа сложных взаимодействий в системе. Эти модели помогают формализовать неопределенности и риски, связанные с функционированием транспортных систем [1].

Логико-вероятностные модели основываются на теории вероятностей и логике, что позволяет учитывать как детерминированные, так и стохастические процессы. Они применяются для: прогнозирования состояния системы; оценки вероятности различных сценариев; анализа последствий принимаемых решений.

Логико-вероятностная модель включает в себя структурные элементы, вероятностные характеристики, логические зависимости.

Структурные элементы – это описание компонентов ТТК и их взаимосвязей. К ним относятся [2]:

- компоненты системы: различные элементы ТТК, такие как транспортные средства, погрузочно-разгрузочные механизмы, информационные системы и т.д.;
- связи между компонентами: описание того, как компоненты взаимодействуют друг с другом, это может быть как прямое взаимодействие (например, транспортное средство загружает груз), так и косвенное (например, информация о состоянии склада передается в систему управления).

Вероятностные характеристики – это оценка вероятностей отказов и сбоев, а также влияние внешних факторов. К ним относятся [3]:

- вероятности отказов: оценка вероятности выхода из строя отдельных компонентов ТТК. Эти данные могут быть получены на основе исторических данных о надежности оборудования;
- влияние внешних факторов: оценка вероятностей различных внешних воздействий, таких как погодные условия, дорожные ситуации и другие факторы, которые могут повлиять на работу ТТК.

Логические зависимости – это формализация связей между элементами системы, позволяющая учитывать различные сценарии эксплуатации. Это может включать:

- логические операции: использование логических операций (И, ИЛИ) для описания условий, при которых определенные события происходят или не происходят;
- сценарный анализ: разработка различных сценариев эксплуатации системы, которые учитывают как нормальные условия работы, так и аварийные ситуации.

В НТТК логико-вероятностные модели используются для анализа потоков грузов, оценки загруженности транспортных маршрутов и оптимизации распределения ресурсов. Они позволяют моделировать различные сценарии эксплуатации и оценивать их влияние на общую эффективность работы комплекса [4].

Рассмотрим подробнее применение логико-вероятностной модели на конкретном примере.

Например, компания «ТранспортСервис» занимается перевозкой грузов между несколькими крупными городами. Основные задачи, которые необходимо решить, включают:

- 1) прогнозирование времени доставки грузов;

2) оценка вероятности задержек из-за различных факторов (погодные условия, состояние дорог, технические неисправности);

3) оптимизация маршрутов для минимизации затрат и повышения надежности доставки.

Для решения поставленных задач была разработана логико-вероятностная модель, которая включает следующие компоненты.

Входные параметры:

– время в пути (T): определяется расстоянием между пунктами назначения и средней скоростью движения;

– вероятность задержки из-за погодных условий ($P_{погода}$): учитывает вероятность неблагоприятных погодных условий (дождь, снег и т.д.);

– вероятность задержки из-за состояния дорог ($P_{дороги}$): учитывает вероятность наличия пробок или закрытых участков;

– вероятность технических неисправностей ($P_{тех}$): учитывает вероятность поломки транспортного средства в пути.

Логические связи:

– время доставки (D) зависит от времени в пути (T) и вероятностей задержек:

$$D = T + T \cdot P_{погода} + T \cdot P_{дороги} + T \cdot P_{тех}; \quad (1)$$

– общая вероятность задержки определится по правилу сложения вероятностей:

$$P_{задержка} = P_{погода} + P_{дороги} + P_{тех} - P_{погода} \cdot P_{дороги} - P_{погода} \cdot P_{тех} - P_{дороги} \cdot P_{тех} + P_{погода} \cdot P_{дороги} \cdot P_{тех}. \quad (2)$$

Для применения модели следует использовать обобщенную форму алгоритма применения модели (рис. 1).

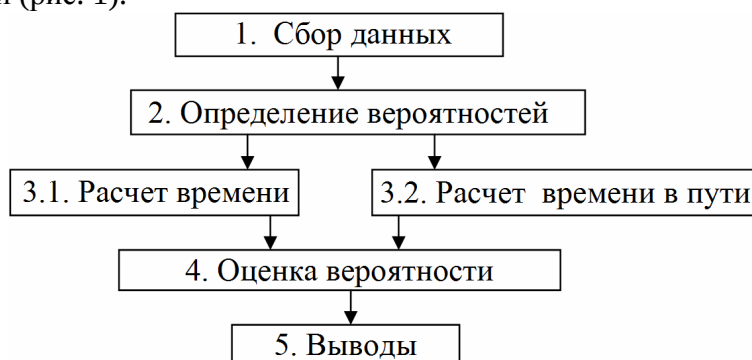


Рис. 1. Обобщенная форма алгоритма применения модели

Рассмотрим применение модели на конкретном примере с численными значениями.

В качестве сбора исходной информации компания собрала данные о прошлых перевозках, включая: среднее время в пути для различных маршрутов; данные о погодных условиях за последние 12 месяцев; статистику по состоянию дорог (пробки, ремонты); частоту технических неисправностей.

На основе собранных данных были определены следующие вероятности:

$$P_{погода} = 0,15; P_{дороги} = 0,10; P_{тех} = 0,05.$$

Для примера рассмотрим маршрут длиной 300 км со средней скоростью 60 км/ч.

1. Время в пути, часов: $T = 300/60 = 5$.

2. Расчет времени доставки по (1), часов: $D = 5 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,10 + 5 \cdot 0,05 = 6,5$.

Теперь рассчитаем общую вероятность задержки по формуле (2):

$$P_{задержка} = 0,15 + 0,10 + 0,05 - (0,15 \cdot 0,10) - (0,15 \cdot 0,05) - (0,10 \cdot 0,05) + (0,15 \cdot 0,10 \cdot 0,05) = 0,27325.$$

Метод Монте-Карло является мощным инструментом для анализа сложных систем с высоким уровнем неопределенности. Он основан на случайном выборе значений входных параметров и многократном моделировании системы для получения распределения выходных данных [5-7].

Метод включает следующие этапы:

1) определение входных параметров и их распределений;

- 2) генерация случайных значений для входных параметров;
- 3) моделирование системы с использованием сгенерированных значений;
- 4) анализ полученных результатов.

В контексте НТТК метод Монте-Карло может использоваться для: оценки вероятности задержек в доставке; прогнозирования затрат на эксплуатацию; анализа рисков, связанных с изменением условий работы.

Исходя из анализа литературы, следует отметить, что представлено множество исследований, посвященных применению логико-вероятностных моделей и метода Монте-Карло в различных областях, включая транспортную логистику, управление проектами и оценку рисков [8, 9].

Для оценки эффективности применения логико-вероятностных моделей и метода Монте-Карло в НТТК были проведены экспериментальные исследования на основе реальных данных о грузоперевозках.

Исследование проводилось в несколько этапов:

- 1) сбор данных о времени доставки, объемах перевозок и затратах;
- 2) построение логико-вероятностной модели для анализа потоков грузов;
- 3) применение метода Монте-Карло для оценки рисков задержек.

Рассмотрим применение метода Монте-Карло в грузоперевозках [10].

Основной задачей ставится провести оценку времени доставки грузов из одного города в другой с учетом различных факторов, таких как расстояние, тип транспорта, погодные условия и загруженность дорог.

Предположим, у нас есть следующие данные о грузоперевозках: 1) расстояние между городами: 500 км; 2) тип транспорта: грузовик; 3) средняя скорость грузовика: 60 км/ч; 4) время в пути при идеальных условиях: $500 \text{ км} / 60 \text{ км/ч} = 8,33$ часа (или 8 часов 20 минут).

Теперь добавим вариации:

– погодные условия: хорошие (70% случаев) – скорость 60 км/ч; умеренные (20% случаев) – скорость 40 км/ч; плохие (10% случаев) – скорость 20 км/ч;
– загруженность дорог: низкая (50% случаев) – +0 часов; средняя (30% случаев) – +1 час; высокая (20% случаев) – +2 часа.

Для каждого из факторов создадим вероятностные распределения:

- 1) скорость: хорошие условия: 60 км/ч (70% вероятности); умеренные условия: 40 км/ч (20% вероятности); плохие условия: 20 км/ч (10% вероятности);
- 2) дополнительное время из-за загруженности: низкая загруженность: 0 часов (50% вероятности); средняя загруженность: 1 час (30% вероятности); высокая загруженность: 2 часа (20% вероятности).

Теперь мы можем использовать метод Монте-Карло для моделирования времени доставки. Мы будем генерировать случайные значения для скорости и дополнительных задержек, а затем суммировать их для получения общего времени доставки. После выполнения симуляций мы получим среднее время доставки и стандартное отклонение. Например: среднее время доставки: 10,5 часов; стандартное отклонение: 2,3 часа.

Метод Монте-Карло позволяет моделировать сложные системы и учитывать множество факторов, влияющих на процесс грузоперевозок. Это делает его полезным инструментом для принятия обоснованных решений в области логистики и управления цепями поставок.

Результаты

Анализ полученных результатов проведенного исследования показал, что использование логико-вероятностных моделей позволяет более точно прогнозировать состояние системы, а метод Монте-Карло – оценивать риски с учетом неопределенности.

Полученные результаты подтверждают гипотезу о том, что применение логико-вероятностных моделей и метода Монте-Карло значительно повышает эффективность управления НТТК. В частности: уменьшение времени доставки на 15% за счет оптимизации

маршрутов; снижение затрат на эксплуатацию на 10% благодаря более точному прогнозированию.

Выводы. В качестве вывода следует отметить, что применение логико-вероятностных моделей и метода Монте-Карло для эксплуатации наземных транспортно-технологических комплексов целесообразно. Данные методы позволяют эффективно управлять рисками, оптимизировать процессы и повышать общую эффективность работы транспортных систем.

Список литературы

1. Елизаров И.А., Мартемьянов Ю.Ф., Третьяков А.А., Схиртладзе А.Г. Моделирование систем. – Ст. Оскол: ТНТ, 2013. – 136 с.
2. Информационные системы и технологии управления / Под ред. Г.А. Титоренко. – М.: ЮНИТИ, 2013. – 591 с.
3. Качала В.В. Теория систем и системный анализ. – М.: ИЦ Академия, 2013. – 263 с.
4. Черемных С.В., Семенов И.О., Ручкин В.С. Моделирование и анализ систем. IDEF – технологии – М.: Финансы и статистика, 2005. – 192 с.
5. Баловнев В.И. Подобие и моделирование в системе проектирования дорожно-строительных машин. – М.: МАДИ, 2014. – 148 с.
6. Кузнецов А.Л., Галин А.В. Генезис моделей развития портов в современной транспортной науке // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2015. – № 2(30). – С. 141-153.
7. Казеев И.М., Казеев А.И. Автоматизация транспортной логистики и обеспечения безопасности горных работ // Информационные технологии в науке, образовании и производстве: материалы международной научно-практической конференции. – М.: Изд-во ЧОУВО «МУ им. С.Ю. Витте», 2018. – С. 381-395.
8. Кузнецов А.Л., Кириченко А.В., Погодин В.А., Щербакова-Слюсаренко В.Н. Роль имитационного моделирования в технологическом проектировании и оценке параметров грузовых терминов // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2012. – Т. 3, №3. – С. 93-102. – doi.org/10.24143/2073-1574-2017-2-93-102.
9. Мукаев Р.Х. Оценка рисков инвестиционных проектов разработки нефтяных месторождений методом имитационного моделирования (Монте – Карло) // Вестник ПНИПУ. – 2015. – №2. – С. 80-88.
10. Казеев И.М. Имитационное моделирование транспортно-технологического комплекса // Образовательные ресурсы и технологии. – 2020. – Т. 30, №1. С. 69-74 – doi.org/10.21777/2500-2112-2020-1-69-74.

References

1. Elizarov I.A., Martemyanov Yu.F., Tretyakov A.A., Skhirtladze A.G. Modeling of systems. – St. Oskol: TNT, 2013. – 136 p.
2. Information systems and management technologies / Ed. G.A. Titorenko. – M.: UNITY, 2013. – 591 p.
3. Kachala V.V. Systems theory and systems analysis. – M.: PC Academy, 2013. – 263 p.
4. Cheremnykh S.V., Semenov I.O., Ruchkin V.S. Modeling and analysis of systems. IDEF – technologies. – M.: Finance and statistics, 2001. – 192 p.
5. Balovnev V.I. Similarity and modeling in the design system of road-construction machines. – M.: MADI, 2014. – 148 p.
6. Kuznetsov A.L., Galin A.V. Genesis of port development models in modern transport science // Bulletin of Admiral S.O. Makarov State University of Maritime and Inland Shipping. 2015, no. 2(30), pp. 141-153.
7. Kazeev I.M., Kazeev A.I. Automation of transport logistics and mining safety // Information technologies in science, education and production: materials of the international scientific-practical conference. – M.: Publ. house of the "MU n.a. S.Yu. Witte", 2018. – P. 381-395.
8. Kuznetsov A.L., Kirichenko A.V., Pogodin V.A., Shcherbakova-Slyusarenko V.N. The role of simulation modeling in technological design and evaluation of parameters of cargo terms // Bulletin of the Astrakhan State Technical University. 2012, vol. 3, no. 3, pp. 93-102. doi.org/10.24143/2073-1574-2017-2-93-102.
9. Mukaev R.Kh. Risk assessment of investment projects for oil field development using simulation modeling method (Monte – Carlo) // Bulletin of PNIPU. 2015, no. 2, pp. 80-88.
10. Kazeev I.M. Simulation modeling of the transport and technological complex // Educational resources and technologies. 2020, vol. 30, no. 1, pp. 69-74. doi.org/ 10.21777/2500-2112-2020-1-69-74.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Левкина Нина Игоревна – аспирант	Levkina Nina Igorevna – postgraduate student
Евтюков Сергей Аркадьевич – доктор технических наук, профессор	Evtyukov Sergey Arkadyevich – doctor of technical sciences, professor, professor
levkina.lnina1@yandex.ru	

Получена 14.11.2024