

МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫМИ РИСКАМИ

Долгов Андрей Александрович

Адъюнкт, Академия управления МВД России, Москва
andaleks78@yandex.ru

MODELING AND MANAGEMENT OF TRANSPORT RISKS

A. Dolgov

Summary. Subject. The paper raises the issue of increasing the efficiency of managing transport risks, it is proposed to determine their probability using modeling, as well as to assess their possible consequences. *Methods.* The article also discusses various methods of modeling transport risks, including statistical analysis, risk event modeling, network structure analysis and others. Each of these methods has its own advantages and limitations. *Results.* A solution to the problem is proposed based on the method of multi-criteria comparative evaluation of objects taking into account objectively existing factors of uncertainty. *Conclusions.* It follows that the proposed information-statistical approach to the problem of morphological and typological analysis of risk assessment options is prone to errors due to a priori information presented in various forms. Therefore, the justified use of various methods of modeling transport risks allows assessing the probability of occurrence of risk events, identifying the most risky places and taking measures to reduce risks.

Keywords: transport, factors, risk, methods, modeling, advantages, disadvantages, risk analysis, risk management.

Аннотация. Предмет. В работе поднимается проблема повышения эффективности управления транспортными рисками, предлагается с помощью моделирования определять вероятность их возникновения, а также оценивать их возможные последствия. *Методы.* В статье также обсуждаются различные методы моделирования транспортных рисков, включая статистический анализ, моделирование рисков событий, анализ сетевых структур и другие. Каждый из этих методов имеет свои преимущества и ограничения. *Результаты.* Предложен способ решения задачи, основанного на методе многокритериальной сравнительной оценки объектов с учетом объективно существующих факторов неопределенности. *Выводы.* Следует, что предлагаемый информационно-статистический подход к проблеме морфологического и типологического анализа вариантов выбора оценки риска подвержен ошибкам из-за априорной информации, представленной в различных формах. Поэтому, обоснованное применение различных методов моделирования транспортных рисков позволяет оценить вероятность возникновения рисков событий, определить наиболее рисковые места и принять меры по уменьшению рисков.

Ключевые слова: транспорт, факторы, риск, методы, моделирование, достоинства, недостатки, анализ рисков, управление рисками.

Транспортные риски являются важной проблемой в современном обществе. Несмотря на значительные прогрессы в технологии и безопасности транспорта, существуют определенные риски, которые могут привести к серьезным последствиям для экономики и общества. Такие риски могут быть связаны с авариями, кражами грузов, задержками в доставке и другими факторами.

Моделирование транспортных рисков является эффективным способом анализа этих рисков и их влияния на различные стороны экономики и общества. С помощью моделирования можно определить вероятность возникновения транспортных рисков, а также оценить их возможные последствия.

Существуют различные методы моделирования транспортных рисков, включая статистический анализ, моделирование рисков событий, анализ сетевых структур и другие. Каждый из этих методов имеет свои преимущества и ограничения, что требует выбора подходящего метода в зависимости от конкретной задачи [1].

Математическое моделирование транспортных систем имеет ряд преимуществ. Оно позволяет проводить

инженерный анализ и принимать эффективные решения с точки зрения стоимости, безопасности движения и пропускной способности [2]. С помощью математического моделирования можно прогнозировать изменения в транспортных потоках при внесении изменений в инфраструктуру и планировать транспортные системы современных городов.

Обзор литературы по данной теме показывает, что основными элементами различных моделей управления рисками являются процедуры определения рисков, анализа рисков и контроля рисков [3].

На рис. 1 показаны данные элементы. Таким образом, можно предположить, что в отношении основных процессов, из которых они состоят, почти все модели схожи, в то время как различаются только названия этих процессов [4].

Рассмотрим предлагаемые методы моделирования управления рисками.

Один из наиболее распространенных методов моделирования транспортных рисков — **статистический анализ**. С помощью этого метода можно выявить зави-



Рис. 1. Элементы модели управления рисками

симости между различными факторами и вероятностью возникновения транспортных рисков. Статистический анализ позволяет также определить факторы, которые наиболее сильно влияют на вероятность возникновения рисков [5].

Другой метод моделирования транспортных рисков — **моделирование рисков событий**. Этот метод позволяет учитывать не только вероятность возникновения транспортных рисков, но и их возможные последствия. Моделирование рисков событий позволяет также рассчитать потери, связанные с возможными рисками, что является важной информацией для принятия решений [6].

Описание метода моделирования рисков событий состоит в следующем. Сначала определяются все возможные рисковые события, которые могут произойти в транспортной системе. Затем определяется вероятность возникновения каждого из этих событий. После этого рассчитываются потенциальные последствия каждого рискового события, такие как потери в денежном выражении, человеческие потери и т.д.

Затем моделируются все возможные комбинации рисковых событий и рассчитываются общие потери от каждой комбинации. В результате можно определить вероятность возникновения каждой комбинации рисковых событий и ее потенциальные последствия.

Применение метода моделирования рисковых событий в транспортной отрасли обосновано тем, что он позволяет учитывать все возможные рисковые события и их потенциальные последствия. Это дает возможность принимать более обоснованные решения по управлению транспортными рисками.

Кроме того, моделирование рисковых событий позволяет учитывать не только вероятность возникновения рисков, но и их взаимосвязь между собой. Это может быть особенно важно в случае возникновения нескольких рисковых событий одновременно, когда их взаимодействие может усугубить последствия.

Таким образом, метод моделирования рисковых событий является эффективным инструментом для анализа транспортных рисков и принятия решений по их управлению.

Также существуют **методы моделирования на основе анализа сетевых структур**, которые позволяют

учитывать взаимосвязи между различными элементами транспортной системы. Такой подход позволяет учесть влияние не только самого транспортного средства, но и других факторов, таких как погода, дорожные условия и т.д. [7, 8].

Одним из эффективных методов моделирования рисков в транспортной отрасли является **метод стохастического моделирования**. Этот метод основывается на использовании вероятностных распределений для моделирования случайных событий, которые могут повлиять на работу транспортной системы [9].

Применение метода стохастического моделирования в транспортной отрасли позволяет учитывать сложные взаимодействия между различными факторами, которые могут повлиять на работу транспортной системы. Например, погодные условия могут повлиять на состояние дороги, что может привести к аварии. Стохастическое моделирование позволяет учитывать эту взаимосвязь и предсказывать вероятность возникновения риска при определенных условиях. Кроме того, метод стохастического моделирования может использоваться для анализа не только отдельных рисковых событий, но и для оценки общей устойчивости транспортной системы в целом.

Стохастическое моделирование позволяет учитывать любые вводимые в задачу факторы и оценивать вероятность возникновения рисков при перевозке опасных грузов.

Однако, следует учитывать, что метод стохастического моделирования также имеет свои ограничения. Например, для его применения необходимы достаточно большие объемы данных и сложные математические расчеты.

Следующим эффективным методом моделирования рисков в транспортной отрасли является метод Monte Carlo. Он также основан на стохастическом моделировании и представляет собой алгоритм, который позволяет оценить вероятность возникновения рисков в различных сценариях [10].

Применение данного метода обусловлено тем, что он позволяет учитывать множество различных факторов, которые могут повлиять на работу транспортной системы и вызвать риски. На рис. 2 показаны данные факторы.

Применение метода Monte Carlo в транспортной отрасли позволяет оценить вероятность возникновения рисков при перевозке грузов, движении транспортных средств и других операциях, связанных с транспортной системой. В результате можно получить качественные и количественные оценки рисков и принять обоснованные решения по управлению ими.

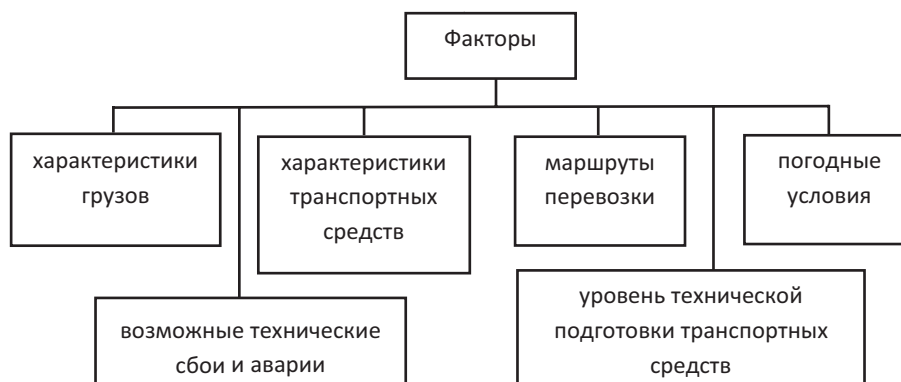


Рис. 2. Факторы, влияющие на работу транспортной системы

Недостатком построения модели транспортных рисков на основе метода Monte Carlo, является сложный и трудозатратный процесс.

В целом, обзор литературы показывает, что различные методы моделирования имеют свои преимущества и недостатки, и выбор подходящего метода зависит от конкретной задачи.

Рассмотрим способ решения задачи многомерной оценки риска при разработке основного и альтернативных маршрутов продвижения транспортной колонны или при выборе вариантов охраны транспортной колонны, или при выборе варианта размещения транспортных средств в колонне в формулировке на основе информационно-статистического подхода [11].

Суть данного подхода основана на методе решения задачи многокритериальной сравнительной оценки объектов с учетом объективно существующих факторов неопределенности. Решение такой задачи предполагает следующий порядок обоснования и формализации показателей.

Допустим, требуется определить и оценить риски выбора основного и резервного маршрутов транспортной колонны с учетом различных факторов (протяженность, рельеф местности, профиль рельефа местности, дозаправка транспорта и т.д.) $R_1, R_2, \dots, R_j, \dots, R_m$, которые могут быть сопоставлены с рядом показателей $P_1, P_2, \dots, P_j, \dots, P_m$, определяющих предпочтение того или иного варианта. Предпочтение варианта R_i с точки зрения учета одного показателя N_j может быть определено по показателю X_{ji} , который имеет определенный физический смысл. Для некоторых критериев сравнения предпочтение рассматриваемых транспортных маршрутов может определяться рангом (порядковым номером, который получает каждый объект при размещении их в порядке предпочтения с позиции рассматриваемого критерия), количеством баллов или качественным показателем (отношением порядка предпочтения в форме $R_1 > R_2 > \dots$).

В формализованном виде исходная информационная ситуация может быть представлена в виде матрицы (табл. 1).

Поскольку для сравнительного анализа привлекается ограниченный набор однотипных объектов (выборка), в общем случае набор оценок показателей X_{ji} ($i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n$) представляет собой выборку случайных величин, законы распределения которых неизвестны. «Веса» критериев N_j ($r_j, r_j = 1$) также неизвестны.

Таблица 1.

Матрица для показателей X_{ji} для маршрутов движения транспорта

	R_1	R_2	...	R_j	...	R_m
P_1	X_{11}	X_{12}	...	X_{1j}	...	X_{1m}
P_2	X_{21}	X_{22}	...	X_{2j}	...	X_{2m}
...
P_j	X_{j1}	X_{j2}	...	X_{ji}	...	X_{jm}
...
P_n	$R_1 >$	$R >$...	$R >$...	$> R_m$

Отметим, что определение весовых коэффициентов является сложным элементом в рассматриваемой задаче и требует использования соответствующих рабочих гипотез, на основе которых определяются модели весовых коэффициентов методами теории принятия решений в условиях неопределенности. Для этой цели применяют «обобщенный» показатель в виде дроби или взвешенной суммы.

Дробный «обобщенный» показатель имеет вид:

$$\Theta = \frac{K_1^{(+)} \times K_2^{(+)} \dots K_n^{(+)}}{K_1^{(-)} \times K_2^{(-)} \dots K_n^{(-)}} \quad (1)$$

где: Θ — эффективность;

$K_i^{(+)}$ — показатель, увеличение которого желательно;

$K_i^{(-)}$ — показатель, увеличение которого нежелательно.

Аддитивный «обобщенный» показатель в виде суммы взвешенных критериальных показателей:

$$\Theta = \alpha_1 \times K_1^{(+)} + \alpha_2 \times K_2^{(+)} - \alpha_3 \times K_3^{(-)} + \dots \quad (2)$$

В данном показателе «веса» α_i назначаются, как правило, субъективно и считаются неизменными. Поэтому, этот способ применять можно, но если в каждом конкретном случае обоснованно определять «веса».

Для многокритериальных задач обоснованный выбор «весов» требует перебора множества вариантов. Например, одним из старейших методов такого плана является метод Парето, применявшийся, в начале, для 2-х...3-х критериев [12].

Если предположить, что проблема оценки весов была более или менее удовлетворительно преодолена, и исходная морфологическая матрица была преобразована в матрицу с однородными элементами P_{ji} , имеющими то же вероятностное значение, которое определяет «рейтинг показателя» конкретного транспортного маршрута, то вполне естественно ввести обобщенный показатель, позволяющий ранжировать сравниваемые маршруты (критерий Байеса)

$$W_i = \sum_{j=1}^n r_j P_{ji} \quad (3)$$

Используя показатель (3), можно определить комплексный критерий, установить порядок предпочтения в ранжированной форме всех маршрутов и дать вероятностную интерпретацию полученного решения. Тогда информационная ситуация может быть представлена в виде следующей матрицы (таблица 2).

Таблица 2.

Матрица с элементами P_{ji} для маршрутов движения транспорта

	R_1	R_2	...	R_j	...	R_m
P_1	P_{11}	P_{12}	...	P_{1j}	...	P_{1m}
P_2	P_{21}	P_{22}	...	P_{2j}	...	P_{2m}
...
P_j	P_{j1}	P_{j2}	...	P_{jj}	...	P_{jm}
...
P_n	$P_{n1} >$	$P_{n2} >$... >	$P_{nj} >$... >	P_{nm}

Таким образом, при постановке и решении рассматриваемой проблемы представляется целесообразным выделить следующие этапы.

1. Формирование матрицы показателей и результатов оценки предпочтительности транспортных маршрутов на основе набора характеристик и критериев сравнения.
2. Преобразование качественных показателей в количественные.

3. Преобразование коррелированных значений показателей в некоррелированные.
4. Преобразование элементов матрицы в безразмерную форму и определение вероятностных мер, соответствующих этим элементам.
5. Разработка моделей для расчета весовых коэффициентов для сравниваемых транспортных маршрутов.
6. Проведение расчетов и анализа обобщенных (комплексных) показателей, характеризующих каждый маршрут. Реализация вероятностной и семантической интерпретации результатов анализа.

В случаях, когда по некоторым критериям предпочтение маршрутов движения транспорта определяется на качественном уровне с помощью ранговых оценок или баллов, представляется целесообразным использовать принцип максимальной неопределенности [11], количественную оценку показателя P_{ji} (индекс j для дальнейших выводов и рассуждения будут опущены) в данном случае может быть представлено в виде:

$$P_i = \frac{m - i + 1}{s}, \quad i \leq 1, \dots, m \quad (4)$$

где

$$s = \sum_{i=1}^l a_i (m - i + 1), \quad l = m - \sum_{i=1}^m (a_i - 1),$$

i — порядковый номер предпочтительного маршрута в общей совокупности, определяемый либо по отношению к порядку предпочтения (см. последнюю строку исходной матрицы), либо по точкам, либо по ранговой последовательности;

a_i — это степень кратности порядковых чисел k . Справедливость зависимости (4) вытекает из решения следующей экстремальной задачи:

$$H_2(P_i) = \prod_{i=1}^l P_i^{(m-i+1)a_i} \rightarrow \max_{P_i} \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^l a_i P_i = 1,$$

где $H_2(P_i)$ — мера неопределенности второго рода.

Чтобы проиллюстрировать этот подход, рассмотрим следующий пример.

Пусть с помощью критерия P_p определено, что маршрут 1 (MS-1) R_1 предпочтительнее маршрута 2 (MS-2) R_2 , а R_2 предпочтительнее всех других транспортных маршрутов. Символически это можно записать следующим образом:

$$R_1 \succ R_2 \succ (R_3, \dots, R_m) \quad (6)$$

Предполагается, что $R_1, R_2, \dots, R_i, \dots, R_m$, с точки зрения их оценки по критерию P_p эквивалентны. Это необходимо для определения значений показателей P_{pi} . В этом случае определение показателей P_{pi} сводится к решению экстремальной задачи (5)

$$H_2 = P_1^{m-1+1} P_2^{m-2+1} P_3^{(m-3+1)(m-2)} \rightarrow \max_{P_1, P_2, P_3}. \quad (7)$$

Введем неопределенный множитель и составим функцию Лагранжа:

$$L = P_1^m P_2^{m-1} P_3^{(m-2)^2} + \lambda * [1 - P_1 - P_2 - (m-2)P_3]. \quad (8)$$

Экстремум меры неопределенности H_2 достигается при условии, что

$$\frac{\partial L}{\partial P_1} = m P_1^{m-1} P_2^{m-2} P_3^{(m-2)^2} - \lambda = 0,$$

$$\frac{\partial L}{\partial P_2} = (m-1) P_1^m P_2^{m-2} P_3^{(m-2)^2-1} - \lambda = 0,$$

$$\frac{\partial L}{\partial P_3} = (m-2)^2 P_1^m P_2^{m-1} P_3^{(m-2)^2-1} - \lambda(m-2) = 0.$$

Если умножить полученные уравнения последовательно на P_1, P_2, P_3 и просуммировать их, то множитель λ определяется как:

$$\lambda = [m + m - 1 + (m-2)^2] P_1^m P_2^{m-1} P_3^{(m-2)^2}. \quad (9)$$

Последовательно подставляя последнее выражение в частные производные функции Лагранжа после сокращений и преобразований находим:

$$P_1 = \frac{m}{m^2 - 2m + 3}, \quad P_2 = \frac{m-1}{m^2 - 2m + 3}, \quad (10)$$

$$P_3 = \frac{(m-2)^2}{m^2 - 2m + 3}.$$

Следует также отметить, что предлагаемый информационно-статистический подход к проблеме морфологического и типологического анализа вариантов выбора оценки риска при разработке основных и альтернативных маршрутов перемещения транспортной колонны или при выборе вариантов охраны транспортной колонны или выборе варианта размещения транспортных средств в колонне подвержен ошибкам. Априорная информация представлена в различных формах, в том числе полученная в результате экспертного анализа факторов, определяющих предпочтение характеристик.

Поэтому, обоснованное применение различных методов моделирования транспортных рисков позволяет оценить вероятность возникновения рисков событий, определить наиболее рискованные места и принять меры по уменьшению рисков.

Основными шагами анализа результатов моделирования транспортных рисков могут быть:

1. Оценка вероятности возникновения рисков событий. При моделировании транспортных рисков определяется вероятность возникновения рисков событий, которые могут привести к потере жизни, здоровья или имущества. Анализ результатов моделирования позволяет оценить вероятность возникновения каждого рискованного события и определить наиболее критические места.
2. Оценка степени воздействия рисков событий на транспортную систему и ее пользователей. При моделировании транспортных рисков также оценивается степень воздействия рисков событий на транспортную систему и ее пользователей. Анализ результатов моделирования позволяет определить, какие виды транспорта наиболее подвержены рискам, какие категории пользователей являются наиболее уязвимыми и какие виды рисков являются наиболее опасными.
3. Определение наиболее эффективных мер по уменьшению рисков. Анализ результатов моделирования транспортных рисков позволяет определить наиболее эффективные меры по уменьшению рисков. Это может включать различные технические и организационные меры, такие как улучшение безопасности транспортных средств, обучение пользователей, улучшение дорожной инфраструктуры и другие.
4. Оценка эффективности мер по уменьшению рисков. После принятия мер по уменьшению рисков, необходимо оценить их эффективность. Анализ результатов моделирования транспортных рисков позволяет оценить влияние принятых мер на уменьшение рисков и принять дополнительные меры при необходимости.

Таким образом, результаты моделирования транспортных рисков подтверждают необходимость внедрения новых технологий и улучшения инфраструктуры в транспортной отрасли для снижения уровня рисков и достижения экономических выгод.

На основе проведенного анализа методов моделирования транспортных рисков можно сделать следующие выводы:

Во-первых, аварии на дорогах и задержки в доставке грузов являются наиболее значимыми рисками в транспортной отрасли, которые могут привести к серьезным материальным потерям и повлиять на работоспособность всей транспортной системы.

Во-вторых, использование новых технологий и развитие инфраструктуры может снизить уровень транспортных рисков. Например, автоматические системы контроля транспортных средств и дорожные камеры могут помочь предотвратить аварии на дорогах, а улуч-

шение логистических процессов может сократить время доставки грузов и снизить вероятность задержек.

В-третьих, сокращение транспортных рисков может привести к экономической выгоде для компаний и государства в целом.

Поэтому оценка транспортных рисков требует внимательного анализа и высокой компетенции в области транспортной безопасности и рискованного менеджмента. Внедрение новых методов и подходов по управлению рисками повысит безопасность и эффективность транспорта, а также уменьшит негативное воздействие на окружающую среду.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондарева И.О., Латыпова Э.А. Имитационное моделирование как инструмент комплексной оценки стратегических рисков логистического предприятия // Инженерный вестник Дона (Сетевое издание). — 2017. — №1.
2. Зырянов В.В., Криволапова О.Ю. Моделирование и анализ спроса на объекты совершенствования транспортной сети // Инженерный вестник Дона (Сетевое издание). — 2012. — №4.
3. Norrman A., Jansson U. Ericsson's Proactive Supply Chain Risk Management Approach After a Serious Sub-Supplier Accident // International Journal of Physical Distribution & Logistics Management. — 2004. — №34(5). — С. 434–456.
4. Efrah wozir Abdulahi, Luo Fan. Literature Review of Multimodal Transportation Risk Management System // International Journal of Multidisciplinary Research. — 2020. — №4(11). — С. 119–127.
5. Вяцкова Н.А. Классификация методов анализа и оценки рисков // cyberleninka.ru URL: cyberleninka.ru/article/n/klassifikatsiya-metodov-analiza-i-otsenki-riskov/viewer (дата обращения: 24.04.23).
6. Масюк Н.Н., Коровин Д.И., Чебыкина Е.В. Моделирование рисков событий как методическая основа расчета страховых тарифов // Вестник КГУ им. Н.А. Некрасова, № 4, 2007. — С.244–247.
7. Кулешов И.А., Дуплинский М.А., Малахов Ю.А. Анализ методов моделирования сетей связи // Научно-технические ведомости, С-Пб: СПбГТУ № 2, 2010. — С.148–152.
8. Кутузов О.И., Татарникова Т.М. Моделирование систем и сетей Телекоммуникаций // Уч. Пособ. — СПб, изд. РГГМУ, 2012 — 136 с.
9. Карева Ю.Ю., Шиховцов Ю.В. Стохастическое моделирование — эффективный метод исследования // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. — 2016. — № 11 (141). С.74–80.
10. Некруткин В.В. Основы метода Монте-Карло / каф. статистического моделирования, <http://statmod.ru>, матмех СПбГУ, Лекции к специальному курсу, 2018 г. 75 с.
11. Мартыщенко Л.А., Ивченко Б.П., Монастырский М.Л. Теоретические основы информационно-статистического анализа сложных систем. — СПб.: Лань, 1997. — 320 с.
12. Пахомов А.П. Применять или не применять принцип Парето на практике? // Вестник РУДН, серия «Экономика», 2010, № 1. — С.5–11.

© Долгов Андрей Александрович (andaleks78@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»