

Лебедева Ольга Анатольевна,  
к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,  
e-mail: kravhome@mail.ru

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СПРОСА НА ГРУЗОВЫЕ ПЕРЕВОЗКИ

Lebedeva O.A.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF FORECASTING MODELS FOR DEMAND FOR FREIGHT TRANSPORTATION

**Аннотация.** В последние годы все больше осознается необходимость точного прогнозирования объемов грузовых перевозок в рамках оценки спроса на поездки. Прогнозирование спроса на грузовые перевозки — сложный процесс, который не изучался в той же степени, что прогнозирование спроса на пассажирские перевозки. В статье приводится сравнительный анализ традиционных моделей прогнозирования спроса на грузовые перевозки и модели на основе туров, а также рассматриваются особенности, преимущества, ограничения и пригодность моделей для апробации на реальной транспортной сети. Цель исследования состоит в том, чтобы предоставить обзор доступных моделей прогнозирования спроса на грузовые перевозки, для их включения в процесс планирования транспортной деятельности.

**Ключевые слова:** грузовые перевозки, оценка спроса, прогнозирование.

**Abstract.** In recent years, there has been a growing awareness of the need for accurate forecasting of freight volumes as part of travel demand assessments. Freight demand forecasting is a complex process that has not been studied to the same extent as passenger demand forecasting. The article compares traditional freight demand forecasting models with tour-based models and discusses the features, advantages, limitations and suitability of models for testing on a real transport network. The aim of the study is to provide an overview of available freight demand forecasting models for inclusion in the transportation planning process.

**Keywords:** freight transportation, demand assessment, forecasting.

Несмотря на динамичное развитие транспортного комплекса, возникает все больше задач, связанных с экономическим ростом. Основными ограничениями наращивания объемов перевозок грузов являются: неразвитость транспортно-логистической системы; существенное отставание транспортной инфраструктуры от потребности. Для решения этих проблем необходима реальная оценка транспортного спроса.

Система грузовых перевозок состоит из пяти основных видов транспорта, а именно: автомобильного, железнодорожного, водного, воздушного, трубопроводного. Товары отгружаются либо одним видом транспорта, либо сочетанием нескольких. В 2018 году стоимостной объем рынка коммерческих автомобильных перевозок в России увеличился на 7,7% и достиг 814,9 млрд. руб., что объясняется ростом внутреннего спроса [1]. В России грузовые перевозки осуществляются транспортом как общего, так и необщего (ведомственного) пользования. Транспорт общего пользования осуществляет перевозки на коммерческой основе для всех видов организаций. Транспорт необщего пользования, принадлежит какой-либо организации и осуществляет перевозку только ее грузов. В

2018 году на коммерческие автомобильные рейсы (транспортные и курьерские компании) приходилось 29,4% перевезенных грузов, при этом средняя дальность перевозок 1 т грузов составила 85,1 км, а средняя дальность перевозки 1 т грузов физическими лицами — 331,3 км. Необходимость учитывать влияние показателей на работу транспортной системы становится первостепенной задачей. Это, в свою очередь, порождает необходимость рассматривать грузовые перевозки как часть процесса планирования для того, чтобы улично-дорожная сеть не вносила никаких ограничений на грузовые перевозки и наоборот. Для эффективного транспортного планирования, требуются надежные модели прогнозирования спроса на грузовые перевозки на краткосрочный и долгосрочный период. В данном исследовании рассматривается прогнозирование грузовых перевозок, подходы к моделированию, ориентированные на потребности в ресурсах и требования, ключевые допущения, пригодность для применения. Подходы включают традиционные модели прогнозирования грузоперевозок, а также модели на основе туров [1].

Проведя обзор традиционных моделей прогнозирования спроса на грузовые перевозки, можно отметить, что чаще всего используются пять подходов, которые классифицируются от А до Е следующим образом [2-6]:

- класс А – метод прямого факторинга транспортных потоков объектов, включает оценку коэффициента роста на основе фактических данных и статистики прошлых лет о количестве транспортных средств и применении их к наблюдаемым объемам движения и используется для краткосрочного прогноза грузовых потоков с целью определения позвенных объемов;
- класс В – метод факторизации матриц корреспонденций, аналогичен классу А, за исключением того, что коэффициенты роста применяются к поездкам базового года;
- класс С – модель грузовых поездок, включает совокупные туры грузового подвижного состава, генерирующиеся отдельно для внутренних и внешних поездок между зонами. В модели используется традиционный метод распределения поездок и назначения транспортного потока по сети. Модель анализирует только грузовые поездки, и является комплексной системой;
- класс D – четырехэтапная товарная модель класса С. Модель разрабатывает прогнозы и преобразует товарные потоки в ежедневные рейсы грузовых автомобилей. Основным недостатком этого подхода является ограниченная детализация;
- класс Е – модель экономической деятельности с двумя ключевыми элементами: модель экономики/землепользования и модель спроса на грузовые перевозки.

В таблице 1 представлены пять основных классов моделей (от А до Е) и шесть компонентов моделирования.

Таблица 1

## Классы и компоненты грузовых моделей

Компонент модели	Класс модели				
	А	В	С	Д	Е
прямой факторинг	потоки объекта	-	-	-	-
генерация поездки	матрицы корреспонденций	-	-	включено	включено
распределение поездок	-	на основе экзогенно обеспечиваемой зональной активности	включено	непригодно	включено
разделение потоков	-	на основе экзогенно обеспечиваемой зональной активности	включено	включено	включено
назначение транспортного потока	-	по результатам экономического режима	включено	включено	включено
моделирование экономики/землепользования	-	-	-	-	-

Классы моделей имеют общие компоненты. Следует отметить, что ни одна модель в классах от А до Е ни способна удовлетворить все аналитические потребности. Недостаточно внимания в моделях уделяется типам грузового подвижного состава, схемам и продолжительности поездок или интенсивности грузового потока. Преимущество моделей, основанных на поездках, в том, что они требуют минимального объема данных, которые можно получить посредством подсчета транспортных потоков и обследований объемов перевезенных грузов. С другой стороны, товарные модели позволяют определить количество грузов по весу, тем самым более точно отражая фундаментальные экономические механизмы, управляющие движением грузов.

Два основных типа грузовых моделей, обычно используемых на практике (на основе транспортных средств или на основе товаров), имеют ограничения. Модели, основанные на транспортных средствах, не могут моделировать экономическое поведение, из которого фактически вытекает спрос; в то время как товарные модели не могут реалистично учитывать деятельность транспортных средств, особенно в городских условиях, для которых оценка воздействия является наиболее важной.

Для устранения некоторых из этих ограничений предложены усовершенствованные модели прогнозирования спроса на грузовые перевозки с тенденцией к дезагрегированным моделям, которые включают цепочки поставок или характеристики грузовых поездок.

Рассмотрим две дополнительные классификации, а именно модели логистических цепочек (класс F) и модели туров (класс G). Эти новые классификации являются результатом необходимости повысить чувствительность моделей в экономике сырьевых товаров для разработки мероприятий планирования (класс F) и более реалистично фиксировать движение грузовых транспортных средств для оценки воздействия. Класс F позволяет использовать пункты погрузки–разгрузки для представления каналов сбыта. Аналитический обзор подтверждает наличие преимуществ использования логистических моделей. Что наиболее важно, использование информации о товарных потоках для определения общего количества и типа товаров, которые необходимо отправить, дает понимание, как груз перемещается по логистической цепочке [6-11]. К недостаткам данного класса можно отнести сложность проведения анализа логистики конкретной группы товарных потоков при организации перевозочного процесса с большой номенклатурой грузов. Традиционные модели прогнозирования грузоперевозок оценивают независимые поездки между парами пунктов отправления и назначения (O-D) на основе соответствующих зональных характеристик и импедансов, но не могут фиксировать рейсы.

Модели класса G рассматривают туры, как единицу моделируемого движения и фиксируют взаимосвязанную цепочку поездок грузового подвижного состава, образующих полный тур. Требования к входным данным включают: данные о поездках и деятельности предприятия (отрасли), пространственные данные о землепользовании, населении и демографии, а также занятости. Маршруты транспортных средств можно моделировать либо на уровне отдельных транспортных средств с использованием дезагрегированных моделей, либо с помощью агрегированных моделей, оценивающих общий поток. Модели, основанные на турах, позволяют прогнозировать движение смешанных товаров более эффективно, чем модели логистических цепей, из-за отсутствия данных, описывающих финансовые операции между производителями и потребителями. Экономические данные используются для получения контрольных сумм, но они не генерируют конкретные грузовые поездки или товарные потоки.

В целом анализ показал, что модели класса G более реалистичны, чем традиционные модели прогнозирования спроса на грузовые перевозки, и применимы для оценки воздействия и исследования на основе транспортных средств, такие как стратегии ценообразования и ограничения движения по улично-дорожному участку.

В этой статье обобщены различные методы моделирования грузоперевозок на основе доступных литературных источников. Существует семь классов моделей (классы от A до G), начиная от традиционных подходов прямого моделирования и заканчивая недавно разработанными моделями на основе туров (Таблица 2).

Таблица 2

Характеристики грузовых моделей

Ввод данных	Вывод данных				
	матрица товарных потоков	выбор графика работы	цепочка поставок	матрицы транспортных потоков	маршруты грузовых потоков
социально-экономические данные	класс D, E	класс D, E, F	класс F	класс B, C, D, E, F	класс A, B, C, D, E, G
данные о землепользовании	класс E	класс F	класс F	класс E	класс E, G
спрос/предложение	класс D, E	класс D, E, F	класс F	класс C, D, E, F	класс A, B, C, D, E, G
данные о товарных потоках	класс D	класс D, F	класс F	класс D, F	класс D, G
матрицы транспортных потоков				класс B	класс B, C, G
характеристики отгрузки		класс F	класс F	класс F	
данные о пунктах перегрузки		класс F	класс F	класс F	
логистические расходы		класс F	класс F	класс F	класс G
характеристики тура					класс G

Классы A и B подходят для планирования с минимальными требованиями к данным для разработки модели. В частности, модели факторинга класса A подходят для оценки объемов грузов на звеньях транспортной системы, но

предполагают множество допущений и имеют ограниченную применимость. Сбор данных для факторинговых моделей класса В часто усложняет реализацию.

Модели грузовых поездок класса С ограничены графиком работы, который может отображать все товарные потоки, но не может анализировать работу сети в целом.

Четырехэтапные товарные модели класса D позволяют проводить анализ воздействия изменений в сфере занятости, характере поездок и сетевой инфраструктуре, однако они не учитывают взаимодействие между отраслями.

В моделях экономической деятельности класса Е используется модель землепользования/экономическая модель для оценки зональной занятости или экономической активности до процесса генерации поездок.

Модели логистики/цепочек поставок класса F могут прогнозировать культурно-бытовую и экономическую активность в зонах на основе базовых соотношений спроса, предложения и затрат, но такие модели не используются в городских условиях, поскольку не могут прогнозировать потоки на сетевом уровне.

Модель на основе туров класса G с максимальным требованием к данным наиболее подходит для оперативного применения, отображая взаимосвязанную цепочку поездок грузовых автомобилей, образуя тур. Стандартной структуры для таких моделей не существует, поэтому каждая модель настраивается отдельно, что увеличивает трудоемкость по разработке и связанные с этим затраты. Изучение моделей грузовых перевозок показывает, что модели логистической цепочки класса F и модели, основанные на турах класса G, имеют большие перспективы при прогнозировании грузоперевозок.

В целом аналитический обзор выявил очевидные достоинства и недостатки, связанные с каждым классом моделей, которые необходимо тщательно рассмотреть перед выбором реализации модели.

Существуют и другие модели прогнозирования спроса на грузовые перевозки, однако они не реализованы либо из-за обширных требований к вводу данных, которые не всегда доступны, либо из-за отсутствия практической значимости. Цель исследования состоит в том, чтобы понять возможности и ограничения существующих вариантов моделирования прогнозирования грузовых перевозок и помочь упростить выбор модели.

В статье представлен систематический обзор и обобщение современного состояния моделей прогнозирования спроса на грузоперевозки с целью выбора и внедрения таких моделей в процесс планирования перевозок.

Обзор методов моделирования грузоперевозок показывает, что не существует единой модели, способной решить все задачи. Включив функции из нескольких существующих сред моделирования, можно было бы разработать

структуру моделирования грузовых перевозок, подходящую для удовлетворения всех потребностей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Бюллетень о текущих тенденциях российской экономики** // Грузовые перевозки в России: обзор текущей статистики, сентябрь, 2019. № 53. С 28.
2. **Лебедева, О. А.** Моделирование грузовых перевозок в транспортной сети / О. А. Лебедева, М. Н. Крипак // Вестник Ангарского государственного технического университета. 2016. № 10. С. 182-184.
3. **Лебедева, О. А.** Классификация моделей, применяемая к грузовым системам / О. А. Лебедева, А. Ю. Михайлов // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2016. Т. 1. № 1. С. 248-251.
4. **Лебедева, О. А.** Развитие городских грузовых систем с учетом концепции городского планирования / О. А. Лебедева, М. Н. Крипак // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2016. Т. 1. № 1. С. 244-247.
5. **Полтавская, Ю. О.** Оптимизация транспортной сети на основе минимума общих затрат на доставку грузов / Ю. О. Полтавская // Вестник Ангарского государственного технического университета. 2019. № 13. С. 178-183.
6. **Лебедева, О. А.** Пути повышения эффективности работы автотранспортного предприятия / О. А. Лебедева, К. А. Мальцева // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2017. Т. 1. № 1. С. 140-145.
7. **Лебедева, О. А.** Стратегическое планирование грузопотоков на основе модели распределения продуктов / О. А. Лебедева, В. Е. Гозбенко // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2020. № 4 (68). С. 183-189.
8. **Полтавская, Ю. О.** Многокритериальная оценка эффективности функционирования системы городского грузового транспорта / Ю. О. Полтавская // Вестник Ангарского государственного технического университета. 2020. № 14. С. 130-132.
9. **Полтавская, Ю.О.** Автоматизированное моделирование процессов управления перегрузочными операциями на контейнерных терминалах / Ю. О. Полтавская, В.Е. Гозбенко // Молодая наука Сибири. 2021. № 3 (13). С. 181-187.
10. **Оленцевич, В.А.** Анализ причин нарушения безопасности работы железнодорожной транспортной системы / В. А. Оленцевич, В. Е. Гозбенко // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2013. № 1 (37). С. 180-183.
11. **Doustmohammadi, E.** Comparison of Freight Demand Forecasting Models / E. Doustmohammadi // International Journal of Traffic and Transportation Engineering, Vol. 5 No. 1, 2016, pp. 19-26.