

9. Койфман М.И. О влиянии размеров на прочность горных пород. М.: Изд-во АН СССР. 1962. С. 46-53.

10. Шевандин Е.М., Маневич Ш.С. Эффект масштаба при хрупком разрушении. Ж.Т.Ф. 1946. Т. 16. Вып. 11. С. 36-39.

11. Методика испытания масштабных образцов на сжатие. Под редакцией Скрамтаева Б.Г. Госстройиздат. 1963. 48 с.

12. Цискрели Г.Д., Лекишвили Г.Л. О масштабном эффекте в бетонах // Бетон и железобетон. 1966. № 10.

13. Бурмин А.В. Влияние влажности бетона на точность определения его прочности

// Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2007. № 4 (17). С. 135-139.

14. Сеница М.С., Сеземан Г.В., Чеснаускас В. Влияние влагосодержания автоклавного ячеистого бетона на его эксплуатационные свойства // Строительные материалы. 2005. № 12. С. 52-55.

15. Кривых М.В., Баранова А.А., Лоншаков И.В. Влияние размеров образцов и их влажности на прочность при сжатии пенобетона на основе микрокремнезёма // Современные технологии и научно-технический прогресс. Т. 1. С. 182-184.

УДК 656.02

Лебедева Ольга Анатольевна,

к.т.н., доцент кафедры «Управление на автомобильном транспорте»,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
тел.: +7(952)6326611, e-mail: kravhome@mail.ru

СТРАТЕГИЧЕСКАЯ ГРУЗОВАЯ ТРАНСПОРТНАЯ МОДЕЛЬ НА ОСНОВЕ ПРОДУКТОВОГО АНАЛИЗА

Lebedeva O.A.

STRATEGIC FREIGHT TRANSPORT MODEL BASED ON PRODUCT ANALYSIS

Аннотация. Моделирование грузовых перевозок в межрегиональном масштабе тесно связано с вопросами планирования. Однако процессы моделирования грузоперевозок являются сложными, поскольку требуется определение переменных и наличие реальной информации о грузоперевозках. Эти факты приводят к необходимости адаптации структуры модели к реальной транспортной сети.

В статье рассматривается стратегическая структура моделирования грузовых перевозок, разработанная как вариант традиционного четырехэтапного процесса оценки транспортных потоков с порожними рейсами. Приведена апробация и калибровка предложенной модели, данные, их источники, методология моделирования, используемые ограничения.

Ключевые слова: транспорт, грузовые перевозки, стратегическое моделирование, продуктовый анализ.

Abstract. Inter-regional freight transport modeling is closely related to planning issues. However, the processes of modeling freight transportation are complex, since the analysis requires the determination of variables and obtaining real information about freight transportation in the network. These facts lead to the need to adapt the structure of the model to a real transport network.

The article discusses the strategic structure of freight transportation modeling, developed as a variant of the traditional four-stage modeling process, with additional steps for estimating freight traffic flows taking into account empty flights. A variant of testing and calibrating the proposed model is given, data, their sources, modeling methodologies used for each step, data limitations and measures taken to supplement existing ones are explained in detail.

Key words: transport, freight transportation, strategic modeling, product analysis.

В последние несколько десятилетий исследование системы грузовых перевозок становится все более актуальным. Для высокого качества моделирования необходимы понимание характеристик и компонентов, из-за которых перевозка является очень сложной системой, и разработка адекватных

моделей спроса на грузовые перевозки, отражающие ключевую динамику процесса. Основным ограничением является то, что моделирование спроса на грузовые перевозки в значительной степени базируется на теории пассажирских перевозок. Тем не менее, исследования показали, что процесс мо-

делирования для грузовых и пассажирских перевозок различен [1]. Поэтому важно понимать ключевые характеристики, которые делают моделирование грузовых перевозок уникальной задачей [2-7]:

- перевозка грузов – это динамичный процесс, подверженный постоянным изменениям;
- товарные потоки напрямую связаны со спросом, однако, грузовые ездки – предложение услуг;
- существует несколько методик для определения грузового спроса (затраты, перевезенный объем грузов, количество ездки);
- частичное представление о системе грузовых перевозок, так как множество взаимодействующих и взаимосвязанных агентов занимаются организацией процессов транспортировки;
- данные о спросе на поездки могут быть чувствительными;
- множество вариантов транспортировки (автомобильный, воздушный, морской, речной, трубопроводный);
- широкий диапазон альтернативных издержек.

Еще один важный фактор, осложняющий процесс разработки модели спроса на грузовые перевозки, связан с отсутствием данных. Это важно в тех случаях, когда объем и качество имеющихся данных ограничены, нет возможности осуществить комплексный сбор. Следовательно, проблема разработки методов моделирования спроса на грузовые перевозки, связана с использованием имеющихся данных.

Выделяют два различных подхода: основанные на езтках и на товарной модели. В их основе заложены различные варианты: четырехступенчатые, прямого спроса. Модели, основанные на езтках, ориентированы на транспортные средства в качестве единицы моделирования и в целом направлены на распределение поездок. Кроме того, отмечена необходимость моделирования порожних ездки, которые могут составлять от 30% до 40% от общего объема грузовых перевозок [1-4]. Одним из преимуществ моделей на основе ездки является использование данных относительно объемов транспортных потоков, которые возможно получить с наименьшими затратами, что является альтернативой при существующих ограничениях.

Эти модели реализовываются в мультимодальных системах.

Товарные модели – с грузом в качестве единицы моделирования способны отражать экономическое состояние транспортной системы. Высокие требования к исходным данным (о товарных потоках) необходимы для калибровки и прогнозирования моделей, которые могут быть удовлетворены путем проведения дорогостоящих обследований пунктов отправления/назначения (сложных для реализации с отсутствием информации о холостых езтках), что делает их применение практически невозможным.

Классификация моделей с точки зрения требований к данным и их характеристик включает пять классов [5-7]:

- класс «А»: относится к методам факторинга, где звенья цепочки получают путем учета темпов роста относительно объемов движения грузовых потоков;
- класс «В»: включает методы факторинга пунктов отправления/назначения с учетом модального разделения и распределения транспортных потоков;
- класс «С»: модели, генерирующие совокупные грузовые ездки в транспортной сети;
- класс «D»: четырехступенчатые товарные модели (класс «С» для транспортных средств);
- класс «Е»: экономические модели с учетом землепользования, которые включают затраты на грузовые перевозки;
- класс «F»: логистические модели;
- класс «G»: турные модели.

Модели спроса на грузовые перевозки, используемые на практике, в значительной степени опираются на совокупные подходы (исследования на уровне предприятий или единиц производства/потребления, учет поведенческой теории), позволят исключить систематические ошибки и включить различные переменные.

Цель работы – внесение вклада в практику моделирования стратегической структуры грузоперевозок. Чтобы справиться с ограничениями данных и воспользоваться дезагрегирующими свойствами, были разработаны модели, комбинирующие подходы.

Для этого была модифицирована четырехступенчатая модель: генерация, распределение, модальное разделение и распре-

деление транспортных потоков. Такая структура способна адекватно моделировать порожние поездки, учитывая коэффициенты загрузки транспортных средств, которые используются для преобразования потока товаров в грузовые ездки.

В общей предлагаемой структуре можно выделить два основных этапа. На первом этапе рассматриваются процессы, необходимые для оценки и калибровки основных компонентов моделирования. Второй этап предполагает прогнозирование и оценку.

Рассмотрим каждый этап подробнее.

1. Генерация грузовых ездок. Задача моделей генерации состоит в предоставлении количественной оценки грузовых перевозок или ездок произведенных или привлеченных в зависимости от социально-экономических факторов (занятости населения, общего объема продаж, типа отрасли), и переменных землепользования. Последние оцениваются с использованием нескольких методов: модели трендов и временных рядов; модели генерации грузовых ездок, основанной на множественном классификационном анализе и линейной регрессии; алгоритмы регрессии; модели динамических систем; зональные тарифы на поездки.

2. Распределение. Модели распределения используются для оценки грузопотоков или ездок между пунктами отправления и назначения. Оценка между зоной отправления i и пунктом назначения j сложна, поскольку существует значительная разница между пунктами отправления/назначения и производством/потреблением. Для оценки грузопотоков между пунктами отправления и назначения в моделях распределения используется мера, выраженная в виде транспортных расходов. Широко применяются гравитационные модели, основанные на принципах максимизации энтропии. Функциональная форма гравитационной модели показана в следующем выражении [5]:

$$V_{ij} = A_i O_i B_j D_j f(c_{ij}) \quad (1)$$

где A_i и B_j – коэффициенты балансировки, в соответствии с ограничениями модели, O_i – общее число ездок, сгенерированных в зоне i , а D_j – общее количество ездок привлеченных в зону j , $f(c_{ij})$ – это составная функция стоимости между парой ij .

3. Модальное распределение. Наиболее распространенным подходом является использование моделей дискретного выбора,

основанной на теории ожидаемой полезности. Одним из вариантов является модель с минимальной стоимостью. Вероятность применения альтернативного варианта m из числа возможных $(1, 2, \dots, K)$ для конкретного перемещения от i до j составляет [5, 6]:

$$P_{ij}^m = \exp(-\lambda C_{ijm}) / \sum_k \exp(-\lambda C_{ijk}) \quad (2)$$

где C_{ijk} – обобщенная стоимость от i до j альтернативного варианта k . Кроме того, учитывая модальный параметр чувствительности к затратам m , составные затраты, которые будут использоваться в качестве репрезентативных в модели распределения, определяются как [5-7]:

$$C_{ij} = -1/\lambda \ln(\sum_k \exp(-\lambda C_{ijk})) \quad (3)$$

4. Оценка транспортного потока. При отсутствии алгоритмов генерации грузовых ездок существует методология перехода от моделей на основе товаров к грузовому движению. Она оценивает матрицу на основе характеристик отгрузки и может учитывать порожние и груженые ездки. Цепочка ездок моделируется путем анализа средней загрузки, характеристик смежных зон и модели товарных потоков.

5. Оценка порожних ездок. Порожние ездки не могут быть оценены относительно товарных потоков, так как модель включает только ездки с грузом и существующие схемы маршрутизации. Чтобы учесть ограничения, могут быть разработаны дополнительные модели, которые представляют порожние ездки как функцию выбора маршрутов для транспортных средств. Модели этого типа основаны на следующих обозначениях: m_{ij} – товарный поток от пункта отправления i до пункта назначения j ; a_{ij} – средняя загрузка (тонн/ездку) для груженых ездок между i и j ; $x_{ij} = m_{ij}/a_{ij}$ – расчетное количество груженых ездок между i и j ; $y = f(x_{ij})$ – расчетное количество порожних ездок между i и j ; $z_{ij} = x_{ij} + y_{ij}$ – общее расчетное количество ездок (груженых и порожних) между i и j .

Предполагается, что число порожних ездок между i и j является функцией товарных потоков в противоположном направлении, j к i , умноженных на постоянную p_0 – оцененную эмпирически. Среднее значение загрузки для ездок от i до j равно значению от j до i ($a_{ij} = a_{ji}$), приводит к [5]:

$$Z_{ij} = \frac{1}{a_{ij}} (m_{ij} + p_0 m_{ji}) \quad (4)$$

6. Восстановление потоков в транспортной сети. Подход заключается в одно-временном решении задачи модального разделения и восстановления путей объезда путем кодирования мультимодальной сети. Для межрегиональных перевозок, когда вариант перегрузки груза не учитывается из-за характеристик сети, необходимы методы разработки стохастических моделей с применением принципа равновесия с предположением вероятностного поведения при выборе пути, которые являются привлекательными вариантами для моделирования процесса назначения [5-7]. Кроме того, мультиклассовые модели распределения используются, когда процесс восстановления зависит от типа товара (для перевозки скоропортящихся грузов, где приоритет состоит в минимизации времени в пути).

Рассмотрим особенности апробации модели, основанной на товарных потоках. Для реализации структуры первым шагом было определение набора параметров моделирования, таких как: анализируемый период, система зонирования, единица измерения объема перевозимых грузов. Другие используемые в анализе характеристики транспортной системы, включают: социально-экономические переменные, плотность населения, местоположение учетчиков.

В статье рассматривается задача моделирования спроса на мультимодальные перевозки, разработанная как разновидность четырехэтапной модели на основе товаров. Для учета потребности в перевозках, включены дополнительные этапы оценки порожних и груженых ездов с учетом товарных потоков.

При анализе важно определить наиболее репрезентативные товарные группы. Чтобы избежать систематической погрешности, для оценки моделей генерации грузов для различных групп требуются значительные объемы данных. Источники информации включают обследования: товарных потоков; пунктов отправления/назначения;

транспортных потоков в портах, аэропортах, железных дорогах и трубопроводах; объемов производства и потребления товаров; социально-экономических показателей. Для построения полной картины грузопотоков с логистикой и структурой распределения большое значение имеет опрос организаций и компаний. В качестве альтернативных данных для оценки потоков может быть проведен недорогой опрос с частичным покрытием площади. Относительно распределения грузов использовались модели гравитации и факторов роста с двойным ограничением. Модальное разделение оценивалось путем анализа доли мод от доступных данных о товарных потоках, а также оценки средних транспортных расходов и времени в пути.

Для оценки транспортных потоков использовались коэффициенты загрузки. Хотя этот метод не позволяет получать потоки для грузовых автомобилей с разделением по техническим характеристикам, что является вариантом решения задачи в случаях с ограниченными данными. Кроме того, моделирование порожних ездов позволило более реалистично представить сетевой транспортный поток.

Появление веб-инструментов и географических информационных систем повысит доступность данных для распределения транспортных потоков и построения сетей такого типа.

В целом, разработка предлагаемой структуры является результатом эффективного использования имеющейся информации. Существуют ограничения, которые стоит отметить: отсутствие моделей оценки с учетом размера партии и способов транспортировки, невозможность учета работы логистических центров.

Предложенная структура разработана как вариант четырехэтапного процесса моделирования, который можно использовать, когда имеются данные о грузоперевозках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лебедева О.А. Показатели оценки эффективности работы общественного транспорта / О.А. Лебедева. Современные технологии и научно-технический прогресс. 2018. Т. 1. С. 108-109.
2. Лебедева О.А. Транспортная инфра-

структура как основополагающий фактор эффективного функционирования экономики страны / О.А. Лебедева / Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2018. С. 125-130.

3. Лебедева О.А. Учет транспортной ра-

боты с помощью бортовых контроллеров и спутниковых навигационных систем / О.А. Лебедева, Д.В. Антонов / Сборник научных трудов молодых ученых и студентов. г. – Ангарск: Изд – во АГТА, 2015. - С.124-126.

4. Лебедева О.А. Основные принципы развития транспортных систем городов / О.А. Лебедева, Д.В. Антонов / Вестник Ангарской государственной технической академии. – Ангарск: Изд-во АГТА, 2014.- С.149-155.

5. Holguín-Veras J., Jaller M., Destro L.,

Ban X., Lawson C., Levinson H. Freight Generation, Freight Trip Generation, and the Perils of Using Constant Trip Rates. *Transportation Research Record*. 2011; 2224:68-81.

6. Zamparini L., Reggiani A. Freight transport and the value of travel time savings: A meta analysis of empirical studies. *Transport Reviews* 2007;27:621-36.

7. Yang C., Regan A., Son Y. Another View of Freight Forecasting Modelling Trends. *ASCE Journal of Civil Engineering*. 2010;14:237-42.

УДК 656.02

Лебедева Ольга Анатольевна,

к.т.н., доцент кафедры «Управление на автомобильном транспорте»,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
тел.: +7(952)6326611, e-mail: kravhome@mail.ru

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИНТЕГРАЦИИ МОДЕЛЕЙ ПЛАНИРОВАНИЯ ПЕРЕВОЗОК С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Lebedeva O.A.

PROBLEMS AND PERSPECTIVES INTEGRATION MODELS OF PLANNING TRANSPORTATION WITH APPLICATION GEO-INFORMATION SYSTEM

Аннотация. В статье рассматриваются возможные варианты объединения моделей планирования перевозок с географическими информационными системами (ГИС) с целью их интеграции. В частности, исследования посвящены несовместимости ГИС и традиционных моделей планирования перевозок при работе с топологиями сети. В работе представлена разработка алгоритма, который преобразует топологию ГИС в топологию транспортной сети. На базе алгоритма преобразования топологии генерируются транспортные сети из картографических файлов ГИС и устанавливается связь между двумя системами.

Ключевые слова: планирование перевозок, геоинформационные системы, интеграция моделей.

Abstract. The article discusses possible options for combining transportation planning models with geographic information systems (GIS) in order to integrate them. In particular, studies are devoted to the incompatibility of GIS and traditional transportation planning models when working with network topologies. The paper presents the development of an algorithm that converts a GIS topology into a topology of a transport network. Based on the topology conversion algorithm, it generates transport networks from GIS map files and establishes a connection between the two systems.

Key words: transportation planning, geographic information systems, model integration.

Планирование перевозок – это процесс принятия решений касательно таких вопросов как краткосрочное и долгосрочное прогнозирование, эффективная организация функционирования транспортной сети [1-5]. Транспортный спрос – важный элемент процесса планирования перевозок.

В процессе моделирования городского транспортного комплекса возникает множество ограничений [6,7]. Они заключаются в следующем [8]:

1. Отсутствие обратной связи. Для решения задачи организации поездки необхо-

дим процесс, состоящий из четырех последовательных этапов. На практике существует методика обработки исходных данных. Она включает итеративные процессы распределения, выбора и назначения, используя время в пути, которое является выходным параметром при назначении, в качестве нового входного распределения, а затем снова повторяется алгоритм для скорректированного модального объема с целью достижения нового равновесия.

2. Влияние изменения границ зоны на последовательный процесс определения уз-