

Лебедева Ольга Анатольевна,

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

Михайлов Александр Юрьевич,

д.т.н., профессор, Иркутский государственный технический университет,
e-mail: mikhaylovay@gmail.com

ТРАНСПОРТНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ СПРОСА: МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ

Lebedeva O.A., Mikhailov A.Yu.

TRANSPORT PLANNING AND DEMAND ANALYSIS: MODELS AND ALGORITHMS

Аннотация. В статье описываются модели транспортного планирования и анализа спроса, и используемые ими алгоритмы. Модели и алгоритмы распределения поездок, назначения поездок, оценка альтернатив предлагают общую методологию, которая включает классическую модель из четырех этапов. Отмечено, что качественная модель, основанная на наборе данных, сгенерирует оценку, позволяющую сделать обоснованные выводы относительно сценариев планирования эффективности работы транспортной сети.

Ключевые слова: транспорт, транспортная инфраструктура, четырехэтапная модель, матрица корреспонденций.

Abstract. This paper describes models of transport planning and demand analysis and the algorithms they use. Trip allocation models and algorithms, trip assignment, alternatives evaluation, offer a general methodology that includes a classic four-stage model. It is noted that a high-quality model based on a data set will generate an assessment that allows making reasonable conclusions about the planning scenarios of the transport network performance.

Keywords: transport, transport infrastructure, four-stage model, correspondence matrix.

Анализ транспортного спроса на поездки в городском пространстве является устоявшейся методологией, называемой четырехэтапной моделью. Модель – это инструмент, предоставляющий количественный и качественный вывод вероятных последствий альтернативных решений, сформулированных на уровне планирования [1-3]. Модель может использоваться для:

- оценки существующей инфраструктуры с точки зрения групп населения, типов грузов, видов поездок, а также пунктов отправления и назначения;
- выявления узких мест в сети и оценка необходимости дополнительной пропускной способности;
- предоставления данных о спросе для соответствующего анализа вариантов, проектирования и определения размеров новой инфраструктуры и эксплуатационных услуг в ответ на реальный прогнозируемый поток и функциональные требования [4];
- анализа влияния новой транспортной схемы на транспортные потоки через смоделированную сеть, показывая, как спрос реагирует на новую инфраструктуру и возникающие в результате условия [5];
- изменений транспортных условий в ответ на колебания численности населения, занятости, экономической активности, уровня автомобилизации [6, 7];

- влияния на маршрутизацию, частоту, скорость или доступность услуг общественного транспорта для пассажиров и оценку расходов;
- взаимосвязи между изменениями в землепользовании и результирующим спросом на транспорт.

Рассмотрим структуру транспортных моделей, представленную на рисунке 1. Они включают ряд отдельных этапов, которые работают в определенной последовательности. «Четырехэтапная модель» описывает стандартный подход к транспортному моделированию.

Модели и алгоритмы: распределения поездок, назначения поездок, оценка альтернатив, предлагают общую методологию, которая включает классическую модель из четырех этапов:

1 этап: определение цели исследования, выбор стратегии и сбор данных. Этот этап подразумевает: сбор социально-экономических данных по землепользованию, структурированных в соответствии со схемой зонирования, разделяющей область, которая является объектом исследования; сбор информации, касающейся транспортной инфраструктуры: автомагистралей, дорог, улиц, железнодорожного транспорта.

2 этап: включает три процедуры четырехшаговой модели: построение моделей генерации и привлечения поездок (I); построение моделей распределения поездок (II); построение моделей модального разделения (III).

3 этап: прогнозирование, известное как модель назначения поездок. Это 4 этап четырехшаговой транспортной модели.

4 этап: оценка; результаты прогноза анализируются с использованием критериев, определенных на 1 этапе. Результаты обрабатываются для лиц, принимающих решения.

Методологию следует понимать как итеративный процесс, в котором результаты любого этапа могут привести к повторной оценке предыдущих или к необходимости получения новых данных для уточнения. Инструменты моделирования и алгоритмы в компонентах транспортного планирования разработаны для поддержки анализа транспортного спроса в применении наиболее релевантных функций четырехшаговой модели.

Транспортный анализ проводится с использованием моделей, компонентами которых являются:

- транспортная инфраструктура и ее показатели: улично-дорожная сеть, пересадочность [4];
- эксплуатация и контроль транспортной системы;
- спрос на поездки, включая модели активности и землепользования – схемы зон.

Большинство концепций, используемых при моделировании транспортных систем, имеют пространственное измерение, и первый вопрос, который необходимо решить – как представить пространственную структуру.

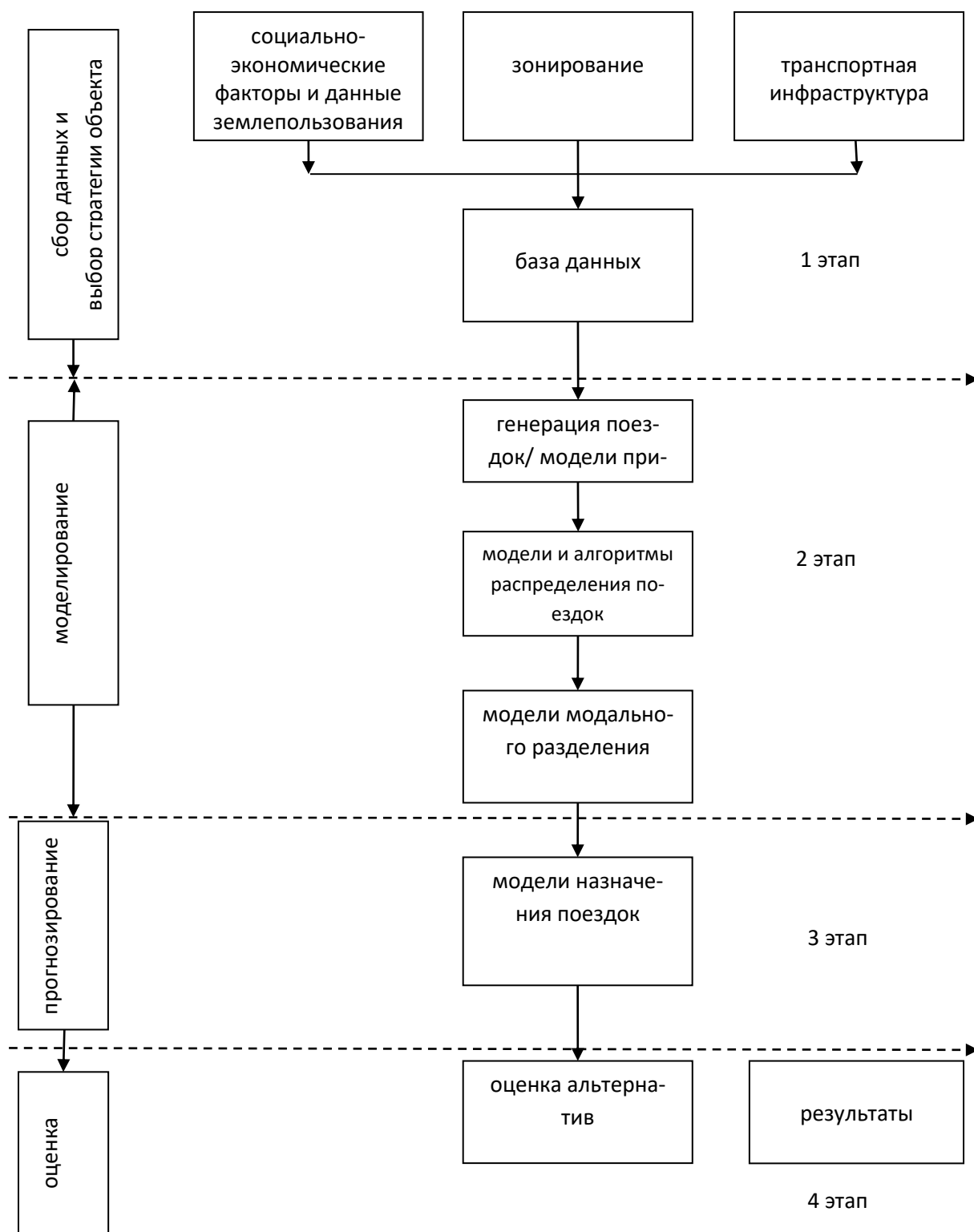


Рисунок 1 – «Четырехэтапная модель».

Традиционный подход заключается в использовании набора агрегированных зон, в которых геолокация пассажиров объединяется в «транспортные зоны». Размер каждой зоны может варьироваться от городского квартала до целого района или города в зависимости от требований модели. Каждая зона движения представлена узлом «центроида» (обычно расположенным в геомет-

рическом или гравитационном центре зоны). Абстрактная пространственная структура, соответствующая заданной географической структуре, может быть визуализирована в гипотетической области, где каждая точка представляет геолокацию отдельного пассажира, а черные точки – центроиды зон (рисунок 1). В процессе планирования перевозок типичное представление спроса состоит в разбиении исследуемой области на транспортные зоны. Основным аспектом эффективного моделирования является определение соответствующего количества и размера этих зон.

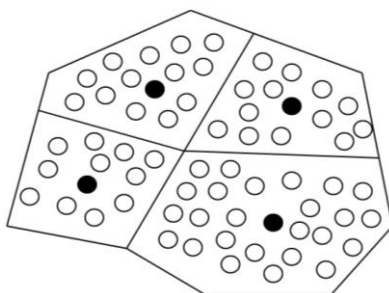


Рисунок 1 – Визуализация разделения транспортной сети на отдельные зоны.

Транспортная инфраструктура моделируется в терминах графа $G = (N, A)$, узлы которого представляют либо «центроиды», то есть пункты, порождающие поездки (исходные), либо пункты назначения этих поездок, либо представляют перекрестки. Связи $a \in A$ представляют физическую инфраструктуру, то есть участки улично-дорожной сети (УДС) между перекрестками, и есть «фиктивные связи», также называемые «коннекторами», роль которых заключается в физическом соединении исходных и конечных узлов с графом, моделирующим сеть. Граф можно интерпретировать как абстракцию физической улично-дорожной сети. Существует набор правил, которым необходимо следовать, чтобы обеспечить реалистичное представление участка УДС: перекрестки должны быть представлены в виде подграфов, моделирующих допустимые движения (где за поворот назначаются штрафы). На рисунке 2 показан пример перекрестка, представленного как физическая схема и как абстрактная сеть.

Существует три ключевых класса объектов для поддержки четырехэтапного процесса моделирования: участки и узлы УДС; центроиды и коннекторы; матрицы поездок.

Участки и узлы дороги используются для описания сети. Центроиды и коннекторы описывают зоны и связывают их с улично-дорожной сетью. Матрица поездок описывает транспортный спрос, где t_{ij} – количество поездок из точки отправления в зоне i в зону назначения j .

Первая фаза в четырехшаговой модели – это процесс генерации поездок для оценки транспортного спроса, начинающихся и/или заканчивающихся в каждой зоне. Эта фаза процесса оценки спроса на поездки может быть выполнена либо на уровне разукрупненного района, либо на совокупном уровне зон,

когда предполагается, что количество поездок является функцией зональных характеристик.

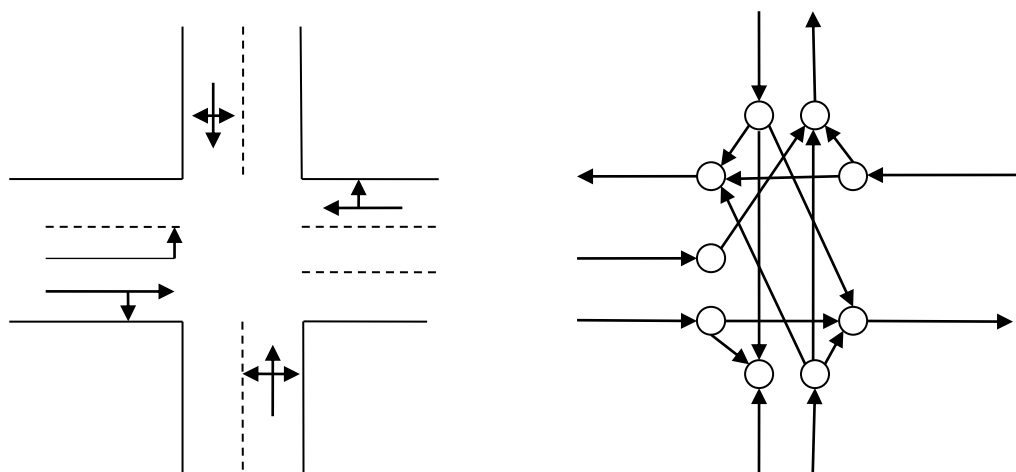


Рисунок 2 – Визуализация перекрестка: как физическая схема, и как абстрактная сеть

Каждая зона имеет возможность для генерации поездок, которые могут быть смоделированы с точки зрения ее социально-экономических характеристик (землепользования, уровня дохода, наличие собственности, наличие индивидуального транспорта, занятость) как функция:

$$O_i = f(V_{i1}, V_{i2} \dots V_{ik}, \dots V_{im}) \quad (1)$$

где O_i – количество поездок, сгенерированных i -ой зоной, V_{ik} – k -ая социально-экономическая переменная зоны.

Аналогично, как пункт назначения, каждая зона на совокупном уровне будет иметь потенциал для привлечения туристов, который также может быть смоделирован как функция ее социально-экономических характеристик:

$$D_i = g(V_{j1}, V_{j2} \dots V_{ik}, \dots V_{jm}) \quad (2)$$

где D_i – общее количество поездок, привлеченных зоной j , V_{ik} – k -ая социально-экономическая переменная зоны j .

На совокупном зональном уровне наиболее часто используемые методы генерации и привлечения поездок основаны на множественном регрессионном анализе, и тогда общая форма для функций O_i и D_i может быть:

$$T_i = a_{i0} + \sum_{k=1}^m a_{ik} v_{ik} \quad \forall i \begin{cases} T_i = O_i & \text{если } i - \text{пункт отправления} \\ T_i = D_i & \text{если } i - \text{пункт назначения} \end{cases} \quad (3)$$

где V_{ik} – заданные факторы «производства» или «привлечения» поездки в зависимости от типа модели; a_{ik} – параметры, числовые значения которых будут оцениваться с помощью множественной регрессии (после анализа данных анкетирования, баз данных переписи населения и других источников).

Факторами генерации/привлечения поездок в этом подходе могут быть: зоны и пассажиры, а также другие атрибуты, такие как график движения, маршруты, количество остановок или время и стоимость поездки.

Результаты транспортной модели предоставляют количественную информацию, которая сообщает о необходимости разработки схемы, анализа финансовых затрат и оценки окружающей среды. Заключительным этапом процедуры моделирования транспорта должно быть предоставление надежных результатов прогнозирования. Таким образом, качественная модель, основанная на соответствующем наборе данных, сгенерирует оценку, позволяющую сделать обоснованные выводы относительно сценариев планирования эффективности работы транспортной сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. **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.
2. **Лебедева, О.А.** Сравнительный анализ моделей прогнозирования спроса на грузовые перевозки / О.А. Лебедева // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2022. № 19. С. 108-114.
3. **Лебедева, О.А.** Транспортное планирование в рамках интеграции моделей землепользования и оценки спроса / О.А. Лебедева // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2022. № 19. С. 103-107.
4. **Полтавская, Ю.О.** Сегмент городской улицы при оценке качества функционирования городского общественного пассажирского транспорта / Ю.О. Полтавская, А.Ю. Михайлов // В сборнике: шаг в будущее: теоретические и прикладные исследования современной науки. Материалы 8 молодежной международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. Научно-издательский центр «Открытие». 2015. С. 40-44.
5. **Лебедева, О.А.** Транспортная инфраструктура как основополагающий фактор эффективного функционирования экономики страны / О.А. Лебедева, Ю.О. Полтавская, З.Н. Гаммаева, Т.В. Кондратенко // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2018. Т. 1. № 15. С. 125-130.
6. **Лебедева, О.А.** Оптимизация транспортной сети с учетом оценки качества услуг общественного транспорта / О.А. Лебедева, В.Е. Гозбенко, С.К. Каргапольцев // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2019. № 1 (61). С. 112-118.
7. **Лебедева, О.А.** Оптимизация маршрутной сети городского общественного транспорта / О.А. Лебедева // Вестник Ангарского государственного технического университета. 2018. № 12. С. 185-188.