

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

## ОБЗОР МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ НАЗНАЧЕНИЯ ПОТОКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ПРОЦЕДУР ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Lebedeva O.A.

### REVIEW OF METHODS FOR SOLVING THE FLOW ASSIGNMENT PROBLEM USING VARIOUS DESIGN PROCEDURES

**Аннотация.** В исследовании приводится обзор методов агрегации, дезагрегации и декомпозиции при распределении потока. Отмечено четкое разделение между оценкой спроса, и географическим зонированием, и методами, ориентированными на моделирование предложения (топологию и загрузку сети). Методы могут применяться для построения многомасштабных сред моделирования.

**Ключевые слова:** агрегирование, транспортные зоны, методы декомпозиции, распределение потока, многомасштабные транспортные модели.

**Abstract.** In The study provides an overview of aggregation, disaggregation and decomposition methods in flow allocation. A clear distinction is made between demand modeling, and geographic zoning, and supply-oriented (network topology and load) modeling methods. The methods can be applied to build multiscale modeling environments.

**Keywords:** aggregation, transport zones, decomposition methods, flow distribution, multiscale transport models.

Специалисты по транспортному планированию часто полагаются на прогнозирование в рамках использования транспортных моделей для принятия решений, предложения законодательных актов или оценки инфраструктурных проектов. Эта практика внедрилась относительно недавно, учитывая, что широкое принятие транспортных моделей началось только в середине двадцатого века. Этот процесс шел параллельно с технологическими достижениями, что позволило проектировать, эксплуатировать и использовать сложные транспортные модели в практике.

Симбиоз между сложностью транспортной модели и доступной вычислительной мощностью стал важным фактором. Уровень сложности в транспортной модели основан на времени, которое требуется для запуска. Максимальное количество времени, которое считается приемлемым, варьируется, от нескольких часов до нескольких дней. Многие специалисты принимают только те модели, которые могут быть решены в течение одного двенадцатичасового запуска. Тем не менее, транспортные модели для средних и крупных городов по-прежнему могут рассчитываться в течении нескольких дней. Для сокращения времени выполнения использу-

ются методы агрегации и декомпозиции, чтобы частично решить проблему сложности и продолжительности вычисления моделей.

Все методы уравнивают две противоречивые цели: альтернативное представление модели в идеале должно быть таким же эффективным, как и исходное, и в то же время выполняться в течение минимального времени. Чтобы количественно оценить, насколько эффективно альтернативное представление транспортной модели, мы можем измерить объем потери информации по сравнению с исходным. Аналогичным образом, возможно количественно определить, насколько упрощается представление транспортной модели, измерив величину масштабирования. Термин «потеря информации» отражает только ошибку или разницу, внесенную упрощением модели. Термин «масштабирование», в контексте методов агрегации означает степень, в которой агрегируются входные данные модели (процедуры).

Величина потери информации и масштабирование являются относительными мерами, требующими исходной транспортной модели в качестве точки отсчета. На рисунке 1 показано схематическое соотноше-

ние исходного описания транспортной модели, ее альтернативного представления и того, как концептуально оценить влияние различий между ними. Величина масштабирования и потери информации определяются различиями между исходным и альтернативным представлением модели. Когда строится несколько альтернативных представлений модели, согласованность между ними является дополнительным фактором, который нужно учитывать. Возможно построить два альтернативных представления, которые оба считаются способными и минимальными с учетом их соответствующего применения, но это не обязательно означает, что мы можем сравнивать результаты между этими двумя альтернативными представлениями из-за потенциальных проблем согласованности. Это проблема в многомасштабных средах, где одновременно работают несколько различных транспортных моделей на разных уровнях детализации, но в одной и той же пространственной области. Проблема, которая может возникнуть, заключается в том, что по-разному построенные альтернативные модели принимают идентичные входные данные, то есть работают в одной и той же пространственной области, но дают разные результаты. Когда эти различия являются результатом несоответствий между двумя моделями, а не только вытекают из-за разницы в детализации, больше невозможно определить, какой из двух результатов можно считать более точным, что, возможно, делает оба выходных результата модели неэффективными.

Рассмотрим методы агрегации и декомпозиции в разрезе моделей распределения потока, поскольку из существующих это наиболее широко применяемая транспортная модель.

Модели распределения потока состоят из двух основных компонентов: спроса и предложения. Модель спроса отвечает за оценку и/или генерацию спроса на поездки на основе системы зонирования. Это приводит к поездкам между зонами. Поездки используют физическую дорожную инфраструктуру для перемещения по сети. Модель предложения отвечает за предоставление уровня обслуживания этой инфраструктуры. Взаимодействие между спросом и предложением, то есть сетью и поездками, приводит к распределению спроса по путям в зависимости от уровня обслуживания сети. Этот про-

цесс известен как распределение потока. Процедура, которая управляет процессом распределения потока, состоит из двух компонентов: загрузка сети и выбор пути. Загрузка сети является частью предложения, она загружает заданные потоки пути в транспортную сеть, что позволяет вычислить обобщенные затраты. Эти затраты затем используются в модели выбора пути для обновления путей потоков. Выбор пути считается частью спроса и определяет количество поездок, назначенных в зависимости от обобщенных затрат. При решении задачи назначения мы ограничиваемся выбором пути, времени отправления и/или способа передвижения. Модель назначения потока считается решенной, когда спрос и предложение находятся в равновесии.

На рисунке 2 изображена модель назначения потока, ее входы и выходы. Входы относительно спроса включают спрос на поток и систему зонирования. Система зонирования включает транспортные зоны [1]. Зона служит отправной точкой (местом отправления), и пунктом назначения (местом прибытия). Зона представляет собой географическую область. Проектирование системы зонирования является сложным процессом и в контексте назначения потока предполагается экзогенным и заданным. Если бы система зонирования была полностью дезагрегированной, она содержала бы зону для каждого объекта или пассажира. На практике система зонирования часто принимает зону для квартала, пригорода или деревни/села, в зависимости от детализации или географического охвата модели.

Со стороны предложения физическая дорожная сеть является фиксированным входом. Сеть состоит из узлов и связей. Связи представляют собой однородный участок дороги, а узлы – места пересечения связей. Центроиды и коннекторы являются частью интерфейса, который позволяет взаимодействовать спросу и предложению. Центроид заменяет зону единой точкой входа/выхода. Коннекторы, также известные как связи соединения, являются виртуальными, нефизическими связями между центроидом и обычным узлом. Центроид и коннектор позволяют спросу на поток входить или выходить из физической дорожной сети во время загрузки сети.

Методы агрегации и дезагрегации яв-

ляются двумя наиболее распространенными типами процедур, используемых при назначении потока.

Методы агрегации упрощают исходное представление, в то время как методы дезагрегации повышают уровень детализации модели. Они могут применяться к входным данным модели, процедурам или и к тому, и

к другому. Общая структура для анализа дезагрегации/агрегации содержится в контексте задач оптимизации. Компонент анализа ошибок относится к объему понесенных потерь информации, в то время как величина масштабирования может рассматриваться как результат принятия определенной процедуры агрегации или дезагрегации.

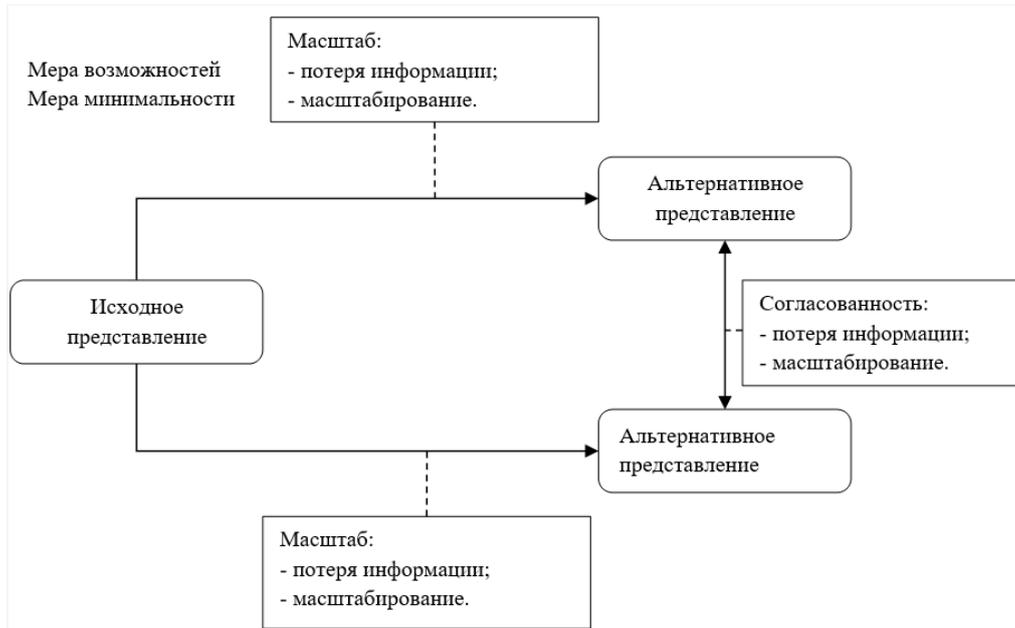


Рисунок 1 – Измерение влияния альтернативных (транспортная модель) представлений [3]

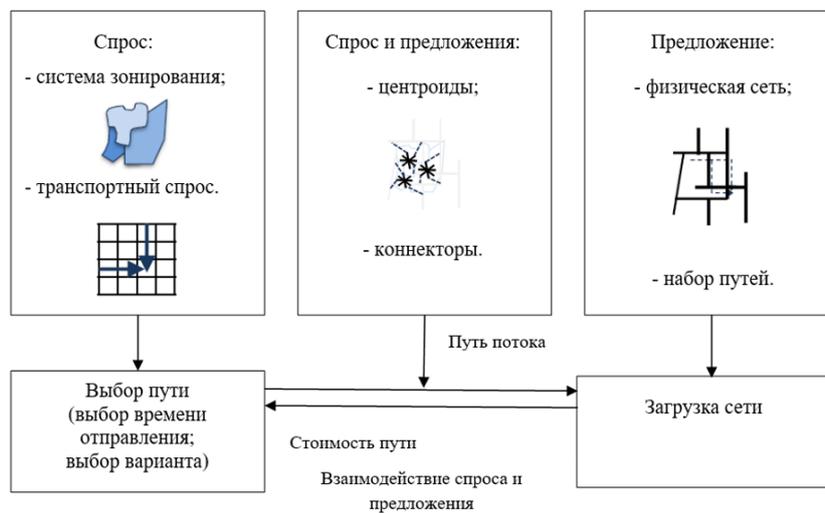


Рисунок 2 – Схема взаимодействия компонентов распределения потока [3]

При агрегации отдельные точки данных группируются вместе, а совокупный результат – кластер, считается одной точкой данных. Затем процедура использует остав-

шиеся совокупные точки данных для решения. Агрегация применяется, когда данных мало для уменьшения вычислительной сложности, либо для повышения надежно-

сти результатов. Последнее не очень распространено в контексте распределения потока.

Методы дезагрегации расширяют точки данных, надеясь уменьшить ошибку. Дезагрегация достигается за счет более высокой сложности модели и увеличения времени моделирования. Агрегация и дезагрегация также могут применяться как процедуры распределения потока. Моделирование отдельных автомобилей в микроскопической модели можно заменить принятием более агрегированного представления в макроскопической модели, где поток моделируется с использованием средних скоростей. Это означает, что на процедурном уровне применяется упрощающее предположение, в результате чего отдельные точки данных (транспортные средства) агрегируются, что неизбежно приводит к некоторой потере информации.

В качестве альтернативы для ускорения вычислений можно использовать методы декомпозиции. При декомпозиции исходная модельная процедура разбивается на более мелкие части. Идея заключается в том, что решение каждой разложенной части по отдельности и объединение результатов более эффективно, чем решение в целом, то есть размерность задачи уменьшается. Это контрастирует с агрегацией, где проблема решается таким же образом, только ее входные данные агрегируются. Другое отличие от данных методов заключается в том, что при декомпозиции входные данные сохраняются и не заменяются. В методах декомпозиции идентифицированные подкомпоненты могут частично перекрываться для обмена информацией, что необычно для дезагрегации/агрегации.

Различия между декомпозицией и агрегацией: методы декомпозиции не изменяют базовые предположения (пространственные, временные и поведенческие категории), а фокусируются на изменении процедуры, чтобы найти решения с меньшими затратами. С другой стороны, методы агрегации изменяют базовые предположения для достижения своих целей, но при этом страдают от потери информации. Напротив, методы декомпозиции могут быть без потерь.

Ранее методы агрегации в транспорте в основном были сосредоточены на удалении связи из сети на основе критериев неизменных кратчайших путей. Этот процесс

удаления объектов называется извлечением. В отличие от методов извлечения, методы абстракции не только удаляют части исходного представления, но и заменяют их, чтобы имитировать исходное поведение. Методы, основанные на абстракции, обычно считаются более распространенным подходом. Замена местных дорог в зоне коннекторами является примером метода абстракции, обычно применяемого при распределении потока. Также различают методы однородной и неоднородной агрегации (фокусный метод). В контексте сетей методы равномерной агрегации влияют на всю сеть, тогда как неоднородные методы влияют только на часть(и) сети. Методы агрегации могут агрегировать данные (входные данные модели), но также могут применяться и к процедурам.

Противоположность абстракции – расширение, а термин вставка – противоположность процесса извлечения, оба из которых являются типами методов дезагрегации. На основе вышеприведенной классификации предлагаются следующие общие определения для описания агрегации, дезагрегации, соответственно, в контексте моделей назначения потока:

Агрегация модели назначения потока – процесс уменьшения сложности модели назначения путем агрегации ее данных, процедур или и того, и другого, равномерно или нет, путем: извлечения исходных компонентов; абстрагирования исходных компонентов (первого и второго вариантов).

Дезагрегация модели распределения потока – процесс увеличения сложности модели путем дезагрегации ее данных, процедур или того и другого, как равномерно, так и нет, путем: расширения исходных компонентов, вставки новых компонентов или комбинации этих методов.

Хотя агрегация может влиять как на данные, так и на процедуры, методы декомпозиции всегда являются процедурными. Большинство существующих методов декомпозиции в распределении потока относятся к процедуре загрузки сети. Кроме того, хотя теоретически возможно применять методы декомпозиции неравномерно, декомпозиция обычно применяется равномерно. На рисунке 2 изображена таксономия аспектов методов дезагрегации/агрегации и декомпозиции. Она показывает, как можно классифицировать существующие методы.



Рисунок 3 – Общая таксономия для методов распределения потока [3]

В исследовании произведена классификация методов агрегации, дезагрегации и декомпозиции в отношении парадигмы моделирования распределения потока, входных данных (зоны, сеть, пути, спрос), процедур (загрузка сети, выбор пути) и их комбинация [5-10]. Кроме того, рассмотрена методология кластеризации, ее использование и соотнесение с транспортом и распределением потока – специфическими методами агрегации в более общей методологической структуре.

Существующие исследования затрагивают различные области (моделирование землепользования, распределение потока, исследование операций, ГИС, машинное обучение, анализ данных) [2, 4]. Результатом является использование различной терминологии, но, что более важно, часто слишком узкий фокус, ограниченный областью исследований. В контексте распределения потока это приводит к наблюдению, что большинство существующих методов рассматривают небольшое подмножество компонентов, часто принимая во внимание только аспекты спроса, или предложения, но не совместно.

Выбор относительно детализации од-

ного компонента влияет на другие, и поэтому необходима целостная методология, которая учитывает все аспекты – как со стороны спроса, так и со стороны предложения.

Системы зонирования и матрицы поездов рассматривают социально-экономические данные, статистическую информацию, такую как границы переписи, и результаты обследования поездов. Это информация со стороны спроса. В этом контексте не рассматривается информацию со стороны предложения (время в пути, уровни загрузки, потоки путей). Уровень обслуживания сети влияет на выбор поездов и может учитываться при построении долгосрочных систем зонирования и связанных с ними матриц поездов.

Сходства между методологиями агрегации и кластеризации предоставляют возможности для использования этих разработок и внедрения их в транспортную сферу. Эти выводы выступают в качестве отправной точки, генерируя новые методологии, позволяющие создавать согласованные многомасштабные модели распределения потока на любом уровне детализации с учетом требований разработчика.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Лебедева, О.А.** Анализ проектирования транспортных зон на основе моделирования сети / О. А. Лебедева. – Текст : непосредственный // Вестник Ангарского государственного технического университета. – 2019. – № 13. – С. 172-177.
2. **Лебедева, О.А.** Транспортное планирование в рамках интеграции моделей землепользования и оценки спроса / О. А. Лебедева. – Текст : непосредственный // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. – 2022. – № 19. – С. 103-107.
3. **Raadsen, M.P.H.** A review of (dis)aggregation and decomposition methods in traffic assignment / M. P. H. Raadsen, M. C. J. Bliemer, M. G. H. Bell // Institute of Transport and Logistics Studies (ITLS), The University of Sydney Business School, Australia. – 2019. p. – 103-107.
4. **Лебедева, О.А.** Развитие городских грузовых систем с учетом концепции городского планирования / О. А. Лебедева, М. Н. Крипак. – Текст : непосредственный // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2016. – Т. 1. № 1. – С. 244-247.
5. **Антонов, Д.В.** Основные принципы развития транспортных систем городов / Д. В. Антонов, О. А. Лебедева. – Текст : непосредственный // Вестник Ангарской государственной технической академии. – 2014. № 8. – С. 149-155.
6. **Лебедева, О.А.** Оценка матриц корреспонденций с учетом ограничений на транспортный поток / О. А. Лебедева. – Текст : непосредственный // Современные технологии и научно-технический прогресс. – 2021. – № 8. – С. 183-184.
7. **Лебедева, О.А.** Моделирование транспортных потоков в условиях перегруженной улично-дорожной сети / О. А. Лебедева. – Текст : непосредственный // Современные технологии и научно-технический прогресс. – 2020. – Т. 1. № 7. – С. 165-166.
8. **Гантимурова, Ю.О.** Особенности моделирования транспортных потоков на перекрестках улично-дорожной сети / Ю. О. Гантимурова. – Текст : непосредственный // Современные технологии и научно-технический прогресс. – 2025. – № 12. – С. 133-134.
9. **Гантимурова, Ю.О.** Оценка пропускной способности дорожной сети на основе вспомогательного графа / Ю. О. Гантимурова. – Текст : непосредственный // Вестник Ангарского государственного технического университета. – 2024. – № 18. – С. 239-242.
10. **Гантимурова, Ю.О.** Сравнительный анализ параметров движения при использовании различных макромоделей транспортного потока / Ю. О. Гантимурова. – Текст : непосредственный // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. – 2024. – № 21. – С. 193-196.