

С.В. Железнов, Л.С. Князева
ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

ОБЗОР МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПАССАЖИРОПОТОКОВ

Дан обзор основных методов и идей в области математического моделирования пассажиропотоков. Рассмотрены модели расчета корреспонденций и распределения потоков по сети. Предложен метод моделирования пассажиропотоков, учитывающий предпочтения, нужды пассажиров.

Транспортная инфраструктура – одна из важнейших инфраструктур, обеспечивающих жизнь городов и регионов. Как известно, социально значимые пассажирские перевозки являются убыточными, поэтому особую важность приобретает оптимальное планирование пассажиропотоков, улучшение организации движения, оптимизация системы маршрутов. Решение таких задач невозможно без математического моделирования транспортных сетей, главная задача которого – определение и прогноз всех параметров функционирования транспортной сети, таких как интенсивность движения, объемы перевозок, средние скорости движения, задержки и потери времени и т.д.

Математические модели, применяемые для анализа транспортных сетей, весьма разнообразны по решаемым задачам, математическому аппарату, используемым данным и степени детализации описания движения, поэтому невозможно дать их исчерпывающую классификацию. Основываясь на задачах, которые решают модели, можно выделить три основных класса: прогнозные, имитационные и оптимизационные.

Прогнозные модели позволяют определить размер пассажиропотоков в случае, когда известны геометрия и характеристики транспортной сети. С помощью этих моделей возможно также прогнозировать последствия изменения в транспортной сети и размещении объектов.

Имитационное моделирование ставит своей целью воспроизведение всех деталей движения, включая развитие процесса во времени. При этом усредненные значения потоков и распределение по путям считаются известными и служат исходными данными для этих моделей. Таким образом, прогноз пассажиропотоков и имитационное моделирование являются дополняющими друг друга направлениями. К классу имитационных моделей можно отнести модели динамики транспортного процесса, которым характерна значительно большая детализация описания движения и, как следствие, потребность в больших вычислительных ресурсах.

Транспортные потоки складываются из отдельных перемещений, совершаемых участниками движения. Таким образом, в понятие передвижения включаются не только поездки различными видами транспорта, но и пешие передвижения. Основными факторами, определяющими количество совершаемых передвижений и их распределение по транспортной сети, являются:

- Потокообразующие факторы, то есть размещение объектов, порождающих передвижения: места проживания, приложения труда, культурно-бытового обслуживания и т.д.
- Характеристики транспортной сети (количество и качество улиц, дорог, судоходных путей, маршруты и т.д.).
- Поведенческие факторы (мобильность населения, предпочтения при выборе способов и маршрутов).

Основой для моделирования поведения пассажиров является математическая формулировка критерия, на основе которого пассажир оценивает альтернативные пути и способы передвижения. Данный критерий называют обобщенной ценой пути. Чем выше эта цена, тем ниже привлекательность пути. Обобщенная цена определяет

ся как взвешенная сумма слагаемых, выражающих влияние факторов различной природы на оценку пути. Она может включать в себя: время передвижения, дополнительные задержки времени, денежные затраты и проч. Как показывают исследования, основным фактором, определяющим цену пути, является время.

В задаче моделирования пассажиропотоков традиционно выделяют четыре основных этапа:

1. Оценка общих объемов прибытия и отправления из каждого района города;
2. Расщепление по способам передвижения (пешие передвижения, на личном автомобиле, на общественном транспорте и др.);
3. Определение матриц корреспонденций, определяющих объем передвижений между каждой парой расчетных районов города;
4. Распределение корреспонденций по транспортной сети, то есть определение всех путей, выбираемых пассажирами, и определение количества передвижений по каждому пути.

Данное разделение является условным, так как все этапы взаимосвязаны и не могут быть решены как отдельные задачи.

Таким образом, расчет корреспонденций и их расщепление может быть выполнено корректно, если уже известна итоговая загрузка сети.

Количественной характеристикой структуры передвижений по сети служит матрица корреспонденций, элементами которой являются объемы передвижений между каждой парой условных районов. Все многообразие передвижений, совершаемое в сети, может быть разбито на разные группы по следующим критериям: по целям, способам, по выбору путей передвижения. Для каждой группы рассчитывается своя матрица межрайонных корреспонденций. Входящей информацией к модели корреспонденций являются общие объемы прибытия и отправления в каждом районе. Оценка объема прибытий и отправок по разным группам связана с пространственным размещением потокопорождающих объектов и подвижностью населения, то есть средним количеством поездок, совершаемых с той или иной целью. Эта оценка строится на основе имеющихся демографических и социально-экономических данных.

Для моделирования комплексной загрузки сети с учетом всех факторов все пассажиры разделяются на классы, для каждого из которых рассчитывается отдельная матрица корреспонденций и производится распределение корреспонденций по сети. При этом для каждого класса используется свой критерий оптимальности путей.

К наиболее распространенным моделям расчета корреспонденций относятся гравитационные, энтропийные модели, модели конкурирующих возможностей и некоторые другие.

Гравитационная модель – исторически одна из первых математических моделей, предложенных для оценки межрайонных корреспонденций. Она основана на следующем положении: корреспонденция из района i в район j пропорциональна общему объему отправления из центра i общему объему прибытия в центр j и некоторой функции $c(t_{ij})$, зависящей от транспортного расстояния t_{ij} между центрами i и j . С интуитивной точки зрения, транспортное расстояние отражает степень близости районов с учетом скорости и удобства передвижений. Способ определения этой величины может различаться в разных вариантах модели.

Использование концепции энтропии для решения транспортных задач было предложено Вильсоном [6], а затем данный подход развивался во многих работах [3, 4, 7, 8]. Энтропийная модель исходит из вероятностного описания поведения пассажиров. Пассажиры случайным образом распределяются по некоторому набору возможных состояний. При расчете корреспонденций состоянием пассажира можно считать принадлежность его к корреспонденции из i в j . Независимый и случайный выбор всеми пассажирами своих состояний приводит к тем или иным макроскопическим состояниям системы. Согласно основной концепции энтропийной модели, состояние системы, которое реализуется в реальности, это состояние с наибольшим статистиче-

ским весом. Использование статистического веса вместо распределения вероятностей объясняется тем, что в таких моделях может не существовать конечного и нормированного распределения вероятностей. Статистические веса состояний отражают сравнительные вероятности реализации различных состояний в системе.

Математически состояние с наибольшим статистическим весом определяется как состояние, доставляющее максимум некоторой функции в пространстве состояний (энтропия системы).

В рамках задачи максимизации энтропии может быть также осуществлен расчет корреспонденций с одновременным расщеплением по типам передвижений.

Одним из недостатков классической гравитационной модели является то, что объемом корреспонденций связывается с характеристиками пары районов (включая расстояние между ними), взятых в отдельности от других районов. Однако район, расположенный рядом с большим количеством других районов посещения, может порождать большую корреспонденцию, чем изолированно расположенный район. Эта идея реализована в моделях семейства конкурирующих центров [1, 2].

Другой важный класс моделей представляют различные модификации модели промежуточных возможностей Стауффера [5]. Данная модель исходит из предположения, что объем между двумя центрами определяется не столько расстоянием между ними, сколько количеством и емкостью альтернативных центров прибытия на пути, соединяющем центры, то есть количеством альтернативных возможностей посещения.

Основное отличие моделей гравитационного типа и моделей промежуточных возможностей состоит в том, что первые основаны на расчете транспортной доступности центров прибытия, рассматриваемых в основном изолированно от альтернативных центров, в то время как вторые учитывают взаимное расположение альтернативных возможностей прибытия, но не учитывают явно фактора транспортной доступности (дальности). В связи с этим предложены различные варианты моделей, учитывающие оба указанных фактора (например, «гравитационно-конкурирующая» модель энтропийного типа).

Как было сказано выше, обычно, для прогнозирования корреспонденции пассажиропотоков используются модели гравитационного типа. Однако в этих моделях сам пассажир, ради обслуживания которого и исследуется транспортная ситуация, не представлен, его предпочтения и нужды не учитываются. Такие модели нуждаются в трудоемкой настройке множества поправочных коэффициентов путем сопоставления с собранным в полевых условиях статистическим материалом, а применение к полигонам с несколькими населенными пунктами еще больше затрудняет их применение.

Таким образом, необходимо разработать метод моделирования пассажиропотоков на ограниченном изолированном полигоне, учитывающий населенность пунктов, нуждаемость и предпочтения пассажиров, а так же стохастичность возникновения потребности в поездках.

Список литературы:

- [1] Fotheringham A.S. A new set of spacial-interaction models: the theory of competing destinations // *Envir. & Plan. A*. 1983. V. 15. P. 15–36.
- [2] Fotheringham A.S. Modelling hierarchical destination choice // *Envir. & Plan. A*. 1986. V. 18. P. 401–418.
- [3] Harris B., Wilson A.G. Equilibrium values and dynamics of attractiveness terms in production-constrained spatial-interaction models // *Envir. & Plan. A*. 1978. V. 10. P. 371–388.
- [4] Попков Ю. С. *Macrosystems theory and its applications*. Berlin: Springer Verlag, 1995.
- [5] Stouffer S.A. Intervening opportunities: a theory relating mobility and distance // *American Sociological Review*. 1940. V. 5. P. 845–867.
- [6] Wilson A.G. A statistical theory of spatial distribution models // *Transpn. Res*. 1967. V. 1. P. 253–270.

[7] Wilson A.G. Entropy in urban and regional modelling. London: Pion, 1970.

[8] Wilson A.G. A family of spatial interaction models and associated developments // *Envir. & Plan. A.* 1971. V. 3. P. 255–282.

В.Г. Заварзин, И.В. Заварзин
ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВП В ВОЛЖСКОМ БАССЕЙНЕ

По состоянию на сегодняшний день, задача создания транспортного пространства, соответствующего потребностям современного общества, в России до конца не решена. Население значительной части территории страны, в основном восточных регионов, испытывает трудности в постоянном и надежном транспортном обеспечении. Более того, даже в регионах, где в целом транспортная проблема может считаться решенной, существуют отдельные населенные пункты, жители которых не имеют постоянного транспортного сообщения с соседними регионами и центрами своих административных образований. Существующее положение дел сказывается на социально-экономическом развитии страны в целом, регионов и на жизни отдельных людей, в частности. Как отмечалось выше, к территориям с ограниченной транспортной доступностью относятся не только регионы востока России, но и районы, расположенные в довольно развитых в транспортном отношении регионах. Обобщение имеющегося опыта эксплуатации судов типа СВП с учетом перспектив использования этих судов для перевозок пассажиров, позволило определить 3 варианта организации речных перевозок судами данного типа: перевозки пассажиров с берега на берег, альтернатива использования СВП автомобильному сообщению, мультимодальные перевозки. Нами предложено решение проблемы ограниченной транспортной доступности по данным вариантам на примере Нижегородской области – достаточно транспортно развитого региона, на территории которого имеются районы с ограниченной транспортной доступностью.

Вариант 1 «Паромная переправа»

Паромная переправа или переправа с берега на берег является одной из ключевых сфер использования внутреннего водного транспорта. Это особенно характерно для Нижегородской области с ее разделением на левобережье и правобережье. Районы Нижегородской области, особенно нуждающиеся в такой переправе это Сокольский, Борский, Лысковский и Воротынский. Особенность Воротынского и Лысковского районов состоит в том, что они расположены на обоих берегах реки Волги. Причем стоит отметить, что все административные организации, предприятия, школы и образовательные учреждения района находятся на правобережье. Для обоснования эффективности варианта «Паромная переправа» был выбран Воротынский район, поскольку в населенных пунктах левобережья (Разнежье и Михайловское) проживает примерно 2300 человек (10% населения района), но в этих селах практически отсутствуют рабочие места, медицинские учреждения с полным спектром услуг (в частности, роддом), торговые центры, административные учреждения, культурно-досуговые центры. Большая часть населения левобережья вынуждена ежедневно переправляться на другой берег. К их услугам в период навигации только паром типа СП-43, 1979 года постройки, который совершает не более 3–4 отправок в день, а иногда вообще не работает (ремонт занимает от недели до месяца). Людям приходится пользоваться услугами частных перевозчиков, что достаточно опасно и дорого, не говоря уже о качестве обслуживания. Ежедневный пассажиропоток составляет 120–200 чел. в осен-