

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА РЕГИОНА

Городской пассажирский транспорт является неотъемлемой частью инфраструктуры города. Он представлен различными видами транспорта, деятельность которых тесно взаимосвязана, что затрудняет планирование их работы. Это требует системного подхода к решению задачи, в которой должны быть учтены не только перспективы развития транспортной системы, но и хозяйственного комплекса города.

Одна из актуальных задач перспективного развития транспортной системы – оптимальное распределение объема перевозок между видами транспорта, экономически обоснованное определение сфер их деятельности и координирования работы. Проблема развития единой транспортной сети включает в себя важную задачу распределения пассажиропотоков по участкам, которая определяет в свою очередь возможность освоения пассажирооборота различными видами транспорта.

Для распределения потоков на сети и определения соотношения развития отдельных видов транспорта разработаны различные модели. Решением таких задач с помощью экономико-математических методов занимаются ученые различных научно-исследовательских институтов, однако, эти разработки в основном относятся к транспортным системам в целом и не учитывают специфические особенности пассажирского транспорта.

Модели формирования корреспонденций Лившиц В.Н. распределяет на четыре класса [1, с.46]: нормативные модели; статистические модели; более усложненные статистические модели по сравнению со вторым классом; энтропийные модели.

Модели первого класса оптимизационные, чаще всего линейные, с критериальной функцией технико-экономического содержания. Особое место среди моделей второго класса занимают гравитационные модели, в которых функция влияния дальности на интенсивность связей по исходным посылкам закладывается в виде квадратной гиперболы.

В третьем классе группировки усложнение гравитационных моделей, происходящее в результате введения дополнительных условий, обеспечивает балансировку шахматной таблицы корреспонденций, вызывает переход от гравитационных моделей к энтропийным и способствует выделению самоорганизующихся систем.

Энтропийные модели чаще всего представлены в форме нелинейной оптимизационной задачи математического программирования, где целевая функция, как правило, носит не технико-экономический, а "термодинамический" характер и включает в том или ином виде вероятностные характеристики коллективного поведения. В некоторых случаях решения энтропийных моделей и модифицированных гравитационных совпадают.

При рассмотрении проблемы моделирования передвижений населения различают три последовательно применяемых приема конструирования [3, с.182]: использование исходных посылок (или аксиом), объясняющих явление; создание конкретной модели, реализующей эти посылки (она может быть табличной, логической, математической, графо-аналитической); применение расчетных алгоритмов.

Анализ разнообразных методов расчета предстоящих передвижений населения позволяет выделить следующие этапы моделирования: определение общего уровня миграционной подвижности; формирование передвижений в отдельных зонах или районах; расчет корреспонденций между зонами; распределение корреспонденций по способу передвижения по путям следования; расчет картограммы интенсивности движения (с использованием и без использования предшествовавших этапов); определение обобщенных распределений протяженности передвижений; определение обобщенных распределений объема перевозок и транспортной работы по протяженности транспортной сети.

При моделировании трудовых поездок в городе используется гравитационная модель, где емкости центров жилых массивов заданы переменной  $V_i$ , центры приложения труда  $D_j$ , а пассажиропоток между ними в виде корреспонденции  $Q_{ij}$  рассчитывается по формуле:

$$Q_{ij} = A_i B_j V_i D_j f(C_{ij}); \quad (1)$$

где

$f(C_{ij})$  – функция, зависящая от стоимости поездки, которая задается для учета каких-либо предпочтений при выборе пары  $(i, j)$ , или выявляется априори, например, в результате статистического обследования.

$A_i, B_j$  – коэффициенты.

Часто в качестве  $f(C_{ij})$  используют среднее время передвижения  $t_{ij}$ , которое считается заданным при решении задачи [1, с.47-49].

Модифицированная таким образом гравитационная модель является не только обобщением классической гравитационной, но и следствием классической термодинамической модели максимизации энтропии вида:

$$\max (- \sum_{ij} Q_{ij} \ln Q_{ij}); \quad (2)$$

$$\sum_i Q_{ij} = V_i; \quad (3)$$

$$\sum_j Q_{ij} = D_j; \quad (4)$$

$$\sum_{ij} Q_{ij} C_{ij} = \overline{CN}; \quad (5)$$

$$Q_{ij} \geq 0. \quad (6)$$

где

$\overline{C}$  – удельная стоимость поездок на одного жителя;

$\overline{N}$  – количество жителей в городе.

Коэффициенты в гравитационной модели (2)  $A_i$  и  $B_j$  зависят от всего набора  $V_i$  и  $D_j$ , то есть объем корреспонденции между двумя узлами, так же как и затраты на дуге сети для одного едущего, зависит от загрузки всей транспортной системы.

Примером типичной модели четвертого класса может служить энтропийная модель, которая отличается от (2) – (6) тем, что вместо средних величин характеристик передвижения в нее вводятся условия об априорном предпочтении формирования транспортных пар  $(i, j)$ , которое могло осуществляться в городской транспортной системе при отсутствии ограничений. Например, априорные индивидуальные предпочтения.

Разновидностями экономико-математических моделей в управлении городским пассажирским транспортом являются модели распределения и самоорганизации потоков пассажиров [1, с.54-55].

Сложность решения задачи распределения потоков обусловлена не только ее большой размерностью, но и видом зависимостей, входящих в критериальную функцию. Большинство зависимостей носят существенно нелинейный характер. Резкий, нелинейный характер роста затрат при приближении величины загрузки элемента сети к уровню пропускной способности и при ее фактическом исчерпании – не единственная причина появления нелинейного целевого функционала задачи.

Для моделирования функции затрат для пассажирских перевозок используют различные методы (нормативные и статистические), приводящие к нелинейным зависимостям.

Задачу распределения потоков необходимо рассматривать с учетом развития элементов сети, например, при распределении перевозок между видами транспорта или при распределении на длительную перспективу потоков на сети одного вида транспорта. Поэтому функции затрат могут быть как выпуклыми (особенно при неизменном техническом оснащении элементов), так и вогнутыми (как при рассмотрении задачи распределения потоков по развивающейся сети), а также со сложным характером нелинейности.

Задачи самоорганизации пассажирских потоков возникают в транспортных сетях, потребительское поле для которых имеет различную структуру, то есть является сильно или слабо дискретным. Классификацию этих ситуаций можно связать с группировкой "поведенческих" гипотез относительно перемещений населения, отражающих топологические свойства транспортной сети и уровень ее загруженности объемами осваиваемых перевозок, заданных в виде шахматных таблиц корреспонденций.

Большинство моделей формирования потоков базируется на построении кратчайшего пути, для нахождения которого осуществляется расценка дуг, причем в задачах самоорганизации потоков – в

соответствии с принятыми в модели гипотезами о приоритетах и предпочтениях маршрутов, выбираемых каждой корреспонденцией.

В стохастической модели рассмотрена транспортная сеть, обслуживающая социально-экономические потребности региона. Задан интервал времени, в течение которого развивается транспортная сеть для удовлетворения изменяющихся потребностей населения, предъявляемых к ней как к подсистеме производственно-экономического региона [2].

В качестве исходной информации заданы следующие величины:

- размеры пассажиропотоков на каждом участке транспортной сети;
- общее количество подвижного состава каждого типа, находящегося в данном регионе;
- структура предпочтений в пользовании различными видами транспорта на каждом участке транспортной сети;
- ресурсное обеспечение развития транспортной сети;
- варианты развития каждого участка сети с требуемым ресурсным обеспечением каждого варианта, с размером издержек и с количеством подвижного состава каждого типа, который предполагается в результате использования данного варианта.

В соответствии с исходными условиями данной модели варианты развития каждого агрегированного участка транспортной сети региона проходят конкурс, на который представляются конкурирующие проекты. При составлении проекта принимают в расчет разнообразные количественные и качественные факторы, а исторические, психологические, социальные и подобные не формализуемые факторы в модели не учитываются, хотя они и формулируют мотивизацию проекта в конкурсе.

Модель является формальным средством сравнения совокупности предлагаемых вариантов развития транспортной сети по критерию минимизации издержек на развитие пассажирской транспортной сети с учетом потребностей хозяйственного комплекса города при обеспечении требуемого уровня стабильности ее работы в условиях ограниченных ресурсов.

Стохастическая модель сложна для реализации, поэтому для получения конкретных результатов целесообразен переход к детерминированной модели оптимизации, которая сформулирована в терминах математических ожиданий. В задаче возможны два подхода к выбору вариантов развития транспортной сети. Первый предполагает априорный вариант развития в начале первого года заданного планируемого периода, второй – оперативное управление процессом выбора вариантов развития в течение определенного периода времени, заключающееся в периодической корректировке вариантов развития участков транспортной сети, принятых в предыдущем году планирования. Наиболее целесообразным является второй подход.

Модели, применяемые в управлении транспортными системами, имеют большое практическое значение, так как позволяют выбрать оптимальное решение в задаче эффективного функционирования городского пассажирского транспорта.

Экономико-математическое моделирование функционирования городского пассажирского транспорта позволяет прогнозировать и планировать его дальнейшее развитие, учитывая закономерности во взаимодействии социально-биологических и социально-экономических внутрисуточных временных ритмов, касающихся регулярных передвижений населения.

#### **Литература:**

1. Оптимизация планирования и управления транспортными системами/ Е.М.Васильева, Р.В.Игудин, В.Н.Лившиц и др. Под ред. В.Н.Лившица – М.: Транспорт, 1997. – 208 с.
2. Саматов Г.А. Региональный пассажирский автотранспорт: организация, эффективность и перспективы развития. – Ташкент: Фан, 1989. – 136 с.
3. Гольц Г.А. Транспорт и расселение – М.: Наука, 1981. – 248 с.