

6. Kraft, G. Demand for Intercity Passenger Travel in the Washington-Boston Corridor. North-East 26 Corridor Project Report, Systems Analysis and Research Corporation, Boston, Mass. 1968

7. Takayama, T., Judge, G.G. Equilibrium Among Spatially Separated Markets: A Reformulation, *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 32(4), 1964, 510-524.

8. Harker, P.T., Friesz, T.L. Prediction of Intercity Freight Flows, I: Theory, *Transportation Research Part B* 20(2), 1986a, 139-153.

9. Harker, P.T., Friesz, T.L. Prediction of Intercity Freight Flows, II: Mathematical

Formulations, *Transportation Research Part B*, 20(2), 1986b, 155-174.

10. Ranaiefar, F., Chow, J.Y.J., Rodriguez-Roman, D., Camargo, P.V., Ritchie, S.G., Geographic Scalability and Supply Chain Elasticity of A Structural Commodity Generation Model Using Public Data. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, in 39 press. 2013.

11. Oum, T.H., Waters II, W. G., Yong, J.S. Concepts of Price Elasticities of Transport Demand and 43 Recent Empirical Estimates: An Interpretative Survey, *Journal of Transport Economics and Policy*, 44 26(2), 1992, 139-154.

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

ОПТИМИЗАЦИЯ МАРШРУТНОЙ СЕТИ ГОРОДСКОГО ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА

Lebedeva O.A.

OPTIMIZATION OF THE ROUTE NETWORK OF URBAN PUBLIC TRANSPORT

Аннотация. В статье рассматривается процесс оптимизации городских маршрутов общественного транспорта на основе существующих методов моделирования. Данная задача является актуальной, так как планирование работы общественного транспорта оказывает непосредственное влияние на повышение его привлекательности и устранение неблагоприятных последствий, которые возникают в процессе работы транспортной сети.

Статья содержит основные рекомендации, данные в исследовании для оптимизации маршрутов городского общественного транспорта.

Ключевые слова: городской транспорт, автобус, сеть, модель, оптимизация.

Abstract. The article discusses the classification of existing applications, the use of which will effectively manage the transport network in real time. Optimizing the transport network by integrating intelligent transport technologies into the transport infrastructure will minimize traffic congestion, reduce environmental pollution and improve road safety.

The issues of equipment of vehicles / control rooms with modern applications are solved depending on the expected results in the complex, or through the acquisition of individual applications. The choice of management tools depends on many factors, goals, necessary information, financial opportunities.

Keywords: city transport, bus, network, model, optimization.

Планирование маршрутной сети городского общественного транспорта является актуальной задачей современного развития городской среды, так как явления транспортных заторов и загрязнения окружающей среды входят в число вопросов, требующих срочного решения. При этом строительство новой инфраструктуры или расширение су-

ществующей улично-дорожной сети не всегда является альтернативным решением проблем.

Требуется адекватное планирование системы – поиск стимулов для повышения привлекательности общественного транспорта и смягчения неблагоприятных последствий, которые возникают в процессе рабо-

ты транспортной сети. Перевозки из одного региона или страны в другую также следует подвергать планированию и оптимизации с целью повышения производительности [1, 2].

С ростом городов потребности людей в общественном транспорте увеличиваются, и не все поездки можно отследить вследствие популярности индивидуального транспорта. Поэтому современная транспортная система должна быть высоко организована для эффективного удовлетворения спроса на услуги общественного транспорта. Необходимо комплексное планирование для улучшения использования экономических ресурсов, повышения функциональности общественного транспорта. Для реального обоснования открытия новых маршрутов или изменения существующих необходимо определение текущего и будущего спроса и масштабов охвата. Поэтому требуется анализ текущего состояния и резервов для обеспечения эффективности, удобства, безопасности и экономичного обслуживания. Таким образом, спрос представляет собой основную информацию для планирования перевозок. Прогнозирование транспортных потоков системы имеет значение и требует изучения характеристик землепользования, экономики, социально-демографической информации, а также знания планов развития региона.

Для определения спроса на перевозки существует несколько методов, которые могут использоваться комплексно, но чаще всего применяется обследование транспортной сети, подсчет пассажиропотока, исследование транспортных потоков.

Планирование транзитных систем может быть краткосрочным (оперативное планирование) или на среднесрочную и долгосрочную перспективу (стратегическое планирование). Обычно проектирование маршрутов городского пассажирского транспорта является краткосрочным. Оно состоит из нескольких последовательных этапов:

- изучение спроса на поездки от остановочных пунктов в разных направлениях (в пределах города);
- разделение на зоны;
- проектирование маршрутов;
- определение пассажиропотока на маршруте;
- определение графика работы;

- определение требуемого количества транспортных средств.

Первые три этапа обычно выполняются в рамках работы муниципальных органов, последующие шаги – непосредственно самими перевозчиками. Оптимизация транспортной сети включает использование большого количества математических инструментов, которые позволяют рационально рассматривать проблемы планирования. Глобальные решения зависят от выполнения каждого этапа.

Модель сети маршрутов общественного транспорта направлена на поиск оптимальных вариантов автобусных маршрутов, которые могут функционировать в сети. Считается, что транспортная сеть должна максимально удовлетворять потребности населения, а пассажиры – останавливать свой выбор на городском пассажирском автобусном маршруте.

Требуется выбрать наиболее жизнеспособные схемы маршрутов для защиты интересов перевозчика. В частности, в модели должен осуществляться выбор маршрутов R в сети узлов и сегментов с учетом максимального покрытия, минимального количества пересадок и минимизации стоимости поездок и сводиться к минимуму расходы на автобусную систему. Модель характеризует два варианта развития событий относительно выбора маршрута: выбор автобуса или иного вида транспорта.

Выбор маршрута определяется как модель распределения с учетом равновесия, достигнутого в системе. Выбор режима транспортировки требует сравнения расстояния, цены или времени в пути, из которых сложится цена за проезд пассажира в автобусе и затраты на другие операции, которые являются экзогенными параметрами модели.

Модель представлена как система обратной связи, потому что цели перевозчиков не совпадают с целями пассажиров, поэтому подсистемы должны влиять друг на друга.

Первая подмодель представляет интересы перевозчиков, и включает автобусные маршруты и остановочные пункты. Ее цель – минимизировать эксплуатационные расходы и максимизировать доходы, которые могут быть косвенно оценены путем удовлетворения спроса.

Вторая подмодель представляет собой решение об удовлетворении потребностей,

выборе маршрута с учетом минимального количества пересадок и затрат (расстояния, времени или скорости) поездки. Если оптимизировать первую подмодель без учета второй, решение будет локальным. Поэтому они должны быть интегрированы в одну модель.

В модели не учитываются интервалы движения, однако для комплексного решения необходимо внести в модель и это условие.

Другие условия, которые влияют на выбор варианта передвижения - это комфорт и безопасность, также не учитываются из-за трудности оценки достоверности таких данных.

Спрос варьируется в разное время суток, однако модель представляет собой решение для определенного периода, учитывая чаще всего часы пик.

Модель содержит функцию минимизации количества пересадок, поскольку пассажир может выбрать более длинный маршрут с меньшим количеством пересадок, вместо более короткого пути с несколькими пересадками.

В модели представлена сеть из N узлов, $N = \{i = 1, 2, \dots, |N|\}$, где i – количество узлов. Среди узлов являются дугами ij – сегменты автобусных маршрутов.

Модель учитывает сеть с маршрутами R с заранее определенными начальными и конечными остановочными пунктами. Модель стационарная, то есть учитывает только пиковый период, а спрос детерминирован. Она представлена матрицей od .

Выбор будет зависеть от сравнения расходов на поездки в обоих вариантах. Затраты на альтернативный вариант являются экзогенными для модели.

Модель не учитывает затраты на подход к остановочному пункту или время ожидания.

Для построения сети требуются дополнительные данные: длины потенциальных сегментов ij , lij ; начальные остановочные пункты $e(r)$ и пересадочные пункты $f(r)$ маршрутов R ; спрос od – число j пассажиров, перемещающихся из узла o в пункт назначения d ; и другие параметры [3-5].

Данные необходимые для работы модели:

- i – узлы сети (представлены как j, k, o, d);

- ij – сегменты, которые непосредственно соединяют узлы i и j ;
- od – сегменты, которые непосредственно соединяют узлы o и d и представляют собой альтернативный вариант поездки;
- R – маршруты для проектирования;
- o – начальный узел od ;
- d – конечный узел od .

Переменные:

$$x_{ijr} = \begin{cases} 1 & \text{если сегмент принадлежит маршруту } r \\ 0 & \text{иначе} \end{cases} \quad (1)$$

$$p_{ijr}^{od} = \begin{cases} 1 & \text{если спрос } od \text{ поездки } ij \text{ на маршруте } r \\ 0 & \text{иначе} \end{cases} \quad (2)$$

$$t_i^{od} = \begin{cases} 1 & \text{если спрос } od \text{ устанавливается в узле } i \\ 0 & \text{иначе} \end{cases} \quad (3)$$

$$m^{od} = \begin{cases} 1 & \text{если спрос } od \text{ устанавливается в автобусе} \\ 0 & \text{иначе} \end{cases} \quad (4)$$

Ниже приведены функции, используемые в модели.

Максимизация спроса на оказание услуг (перевозка автобусом):

$$Z_1 = \sum_o \sum_d D^{od} m^{od}. \quad (5)$$

Минимизация эксплуатационных расходов (для косвенной оценки возможно использовать длину проектируемых маршрутов):

$$Z_2 = \sum_i \sum_j \sum_r l_{ij} x_{ijr}. \quad (6)$$

Минимизация стоимости поездки: расходы, пользователей глобальной системы (все виды транспорта):

$$Z_3 = \sum_o \sum_d C_{alt}^{od} (1 - m^{od}) + C_{bus}^{od}. \quad (7)$$

где C_{bus} – функция общих затрат. Эта функция включает время поездки всех пассажиров через различные сегменты ij , которые зависят от пассажиропотока, то есть от количества пассажиров, которые совершают езду.

Минимизация пересадок:

$$Z_4 = \sum_o \sum_d \sum_i D^{od} t_i^{od}. \quad (8)$$

Модель может включать дополнительные функции, такие как минимизация пересадок, ранее не используемые в моделировании. Использование метаэвристических методов, содержащих генетические алгоритмы, позволит управлять нелинейными функциями, включая двоичные переменные. Такие модели могут быть апробированы на крупных сетях. Для получения моделей высокой надежности целесообразно включить стохастичность в некоторые переменные, такие как спрос, время в пути.

Задача оптимизации маршрутной сети городского общественного транспорта решается путем моделирования с введением дополнительных условий функции, параметров.

Их выбор связан с поставленными целями, доступными математическими инструментами и имеющимися исходными данными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лебедева О.А. Сравнительный анализ методов оценки межстаночной матрицы корреспонденций / О.А. Лебедева, А.Ю. Михайлов / Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2013. № 4 (40). - С.85-88.

2. Лебедева О.А. Оценка степени неравномерности пассажиропотоков / О.А. Лебедева / Современные технологии и научно – технический прогресс. Тезисы докладов ежегодной научной конференции. – Ангарск: Изд-во АГТА, 2014–С.41

3. García, R. and Marín, A., Parking Capacity and Pricing in Park'n Ride Trips: A Continuous Equilibrium Network Design Prob-

lem, Annals of Operations Research, vol. 116, pp. 153-178, 2002

4. Laporte, G., Marín, A., Mesa, J. and Ortega, F., An Integrated Methodology for the Rapid Transit Network Design Problem, Algorithmic Methods for Railway Optimization, pp. 187-199, 2007.

5. Jaramillo, P. and Lotero, L., Modelos de optimización de la operación del transporte público colectivo, 150 años Facultad de Ingeniería ed. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 150 años Facultad de Ingeniería, 2011.