

Развитие задачи моделирования системы парковок

А.Б. Куприянова, (аспирант ИрГТУ)
А.Г. Левашев (к.т.н., доцент ИрГТУ)

Одним из наиболее эффективных способов изучения области паркования является моделирование системы парковок. Например, анализ специальной литературы [5, 6] показал, что ученые разных стран в процессе формирования спроса на поездки рассматривают стоянки как жесткое ограничение (количество поездок в определенный район зависит от общего количества мест паркования в рассматриваемом районе) и как ценовой фактор в обобщенных затратах на передвижение. Эти два положения являются основными при разработке моделей, учитывающих систему паркования.

Одним из характерных примеров работ, в которых рассматривалось моделирование системы стоянок в районе центра города, является статья авторов R. Arnott и J. Rowse [2]. В ней рассмотрена оптимизационная модель, где целевой функцией, являлись общие затраты на передвижение, L :

$$L(\tilde{x}, \bar{x}, P, d) = \frac{1}{\bar{x}} \left[\int_0^{\tilde{x}} T_1(x) dx + \int_{\tilde{x}}^{\bar{x}} T_2(x, P, d) dx \right] + l + \frac{\pi r}{\mu \bar{x}}, \quad (1)$$

где L – общие затраты времени на передвижение; \tilde{x} – максимальная длина передвижения пешком; \bar{x} – максимальная длина поездки с использованием автомобиля; x – расстояние от центра, определяющее место зарождения поездки в центр; $T_i(x)$ – ожидаемые затраты времени на передвижение от x к центру города и обратно с использованием i -го вида транспорта ($i = 1$ – передвижение пешком; $i = 2$ – передвижение с использованием автомобиля); P – средняя плотность размещения парковочных мест на сети города; d – расстояние, с которого водитель начинает поиск парковочного места; l – время, затрачиваемое на посещение объекта тяготения, в течение которого автомобиль находится на стоянке; $\pi r / \mu \bar{x}$ – параметр, учитывающий возникновение потребности в поездках в центр города, исходя из заданной авторами планировочной структуры города и плотности ГТС.

В настоящее время в рамках диссертационных исследований на базе Транспортной Лаборатории ИрГТУ (**TLISTU**), разработана модель системы парковок, обслуживающей центральную часть города (на примере Иркутска). Центральная часть города находится в зоне пешеходной доступности и имеет приоритет общественного транспорта. Владельцы индивидуального транспорта при этом имеют воз-

возможность оставлять транспортные средства на границе центральной части города, для чего предусмотрена система внеуличных стоянок, расположенная по границе центральной части.

При разработке модели за основу была принята оптимизационная модель, предложенная R. Arnott и J. Rowse [5]. Оптимальное состояние транспортной системы, обслуживающей центр, определяется как минимум затрат времени населения на передвижения в центр:

Данная оптимизационная задача имеет смешанные ограничения. В качестве конкурирующих способов передвижения предлагается применять передвижения с использованием общественного транспорта ($q=1$) и передвижения с использованием индивидуального транспорта и системы перехватывающих стоянок ($q=2$).

$$T_{\text{сумм}} \rightarrow \min \sum_i \sum_j x_{ij} [(1-Qp)t_{ijq} + Qp \cdot t_{ijq}], \quad q = \overline{1,2}. \quad (2)$$

где x_{ij} – количество поездок из районов i ; i – район убытия, приобретает значения кроме $k, k+1, \dots, k+m$; $k+m$ – индексы районов принадлежащих центру; j – районы центра, имеет значения $k, k+1, k+m$; Q – уровень автомобилизации, авт/1000 жит.; p – заполнение легкового автомобиля.

В качестве исходных данных используется матрица корреспонденций.

Все поездки, совершаемые в транспортный район центра j из района i , – сумма поездок на общественном и индивидуальном транспорте:

$$x_{ij} = x_{ij1} + x_{ij2}. \quad (3)$$

Передвижения на общественном транспорте t_{ijq} , $q = 1$, включают в себя t_{neu1} – время подхода до остановочного пункта, $t_{\text{ожид}}$ – время ожидания, $l_{ij}/V_{\text{сообщ}}$ – время поездки, t_{neu2} – время подхода от остановочного пункта до места назначения:

$$t_{ij1} = t_{\text{neu1}} + t_{\text{ожид}} + l_{ij}/V_{\text{сообщ}} + t_{\text{neu2}}. \quad (4)$$

Время подхода до остановочного пункта t_{neu1} зависит от плотности маршрутной сети города (F_1), т.е. дальности подхода. На данный показатель накладываются двухсторонние ограничения:

$$0 < F_1 < F_{1\text{max}}, \quad F_{1\text{max}} = 2,5 \text{ км/км}^2. \quad (5)$$

Учитывая, возможную непрямолинейность передвижений на пути и вероятность выбора пассажирами подхода не к ближайшему ОП, а к более отдаленному, но обеспечивающему меньшие общие затраты времени в передвижениях, согласно [1], получается:

$$t_{neu1} = \left(\kappa_{н.п.} \kappa_{в.о.} / v_{neu} \right) \cdot \left(\left(1/3F_1 \right) + \left(l_n/4 \right) \right), \quad (5)$$

где $\kappa_{н.п.} = 1,2$ – коэффициент непрямолинейности подхода (отношение фактического расстояния передвижения между некоторыми пунктами A и B к кратчайшему расстоянию между ними “по воздушной прямой”); $\kappa_{в.о.} = 1 + v_{neu} / v_c$ – коэффициент выбора остановочного пункта, обеспечивающего экономию общих затрат времени на передвижение по сравнению с поездкой от ближайшего $ОП$; v_c – скорость сообщения рассматриваемого вида транспорта.

Время подхода от остановочного пункта до места назначения t_{neu2} зависит плотности маршрутной сети центра и на данный показатель также накладываются двухсторонние ограничения:

$$0 < F_2 < F_{2max}, \quad F_{2max} = 4,5 \text{ км/км}^2, \quad (6)$$

$$t_{neu2} = \left(\kappa_{н.п.} \kappa_{в.о.} / v_{neu} \right) \cdot \left(\left(1/3F_2 \right) + \left(l_n/4 \right) \right). \quad (7)$$

Время ожидания $t_{ожид}$ может колебаться в зависимости от интервалов движения общественного транспорта, либо являться постоянной величиной. В рассматриваемом случае время ожидания определяется по формуле

$$t_{ожид} = t_{марш} / 2, \quad (8)$$

где $t_{марш}$ – среднесетевой маршрутный интервал (зависит от плотности транспортной сети F , скорости сообщения $V_{сообщ}$ и др.), с.

Время поездки зависит от двух величин: от расстояния по сети l_{ij} между районами i и j , а также от скорости сообщения $V_{сообщ}$, при этом на данный показатель накладываются двухсторонние ограничения:

$$0 < V_{сообщ} < V_{max}. \quad (9)$$

Очевидно, что плотность транспортной F сети является одним из основных определяющих параметров, от которых зависят все составляющие передвижения. В данной модели скорость сообщения $V_{сообщ}$ также предлагается рассматривать как функцию от плотности транспортной сети F :

$$V_{сообщ} = \frac{3600 \cdot l_{ij}}{3600 \cdot \frac{l_{ij}}{V_{разреш.}} + t_{з.ср.} \cdot k_i + t_{обс.ср.} \cdot m_i}, \quad (10)$$

где $V_{разреш.}$ – разрешенная скорость движения на маршруте, км/ч; $t_{з.ср.}$ – средняя задержка на одно транспортное средство при движении через перекресток, с; $t_{обс.ср.}$ – среднее время обслуживания на остановочном пункте, с; $k_i = l_{ij} / l_n$ – количество пересечений на маршруте; $m_i = l_{ij} / l_{ост.}$ – количество остановочных пунктов на маршруте ($l_{ост.}$ – среднее расстояние между остановочными пунктами на маршруте); $l_n = \frac{2P}{F \cdot P + 2 \cdot \sqrt{P}}$

среднее расстояние между пересечениями; P – площадь рассматриваемой территории; F – плотность транспортной сети для рассматриваемой территории.

Передвижения на индивидуальном транспорте t_{ijq} , $q=2$, включают: $t_{подх1}$ – время подхода к постоянному месту хранения автомобиля, l_{ij} / V – время поездки (V – скорость сообщения на индивидуальном транспорте), $t_{подх2}$ – время подхода к месту назначения:

$$t_{ij2} = t_{подх1} + l_{ij} / V + t_{подх2} \quad (11)$$

Соответственно, среднее время подхода к месту хранения и к месту назначения:

$$t_{подх1} = \frac{0,7 \cdot \kappa_{н.н.}}{V_{пеш}} \sqrt{\frac{1}{G}} \quad \text{и} \quad t_{подх2} = \frac{0,7 \cdot \kappa_{н.н.}}{V_{пеш}} \sqrt{S_{OT}}, \quad (12)$$

где $V_{пеш}$ – скорость передвижения пешком; S_{OT} – площадь участка центра с приоритетом общественного транспорта; G – плотность размещения гаражей (на данный параметр также накладываются двухсторонние ограничения).

Скорость сообщения на индивидуальном транспорте определяется по (10) также как и для общественного транспорта при условии, что среднее время обслуживания на остановочных пунктах равно нулю.

Все поездки распределяются по видам транспорта следующим образом на легковом транспорте:

$$Q \cdot p \cdot 1000, \quad (13)$$

на индивидуальном транспорте:

$$(1 - Q \cdot p) \cdot 1000. \quad (14)$$

Оптимизационной задачей является минимизация общих затрат времени на передвижения в центр с использованием обоих видов транспорта.

В настоящее время моделирование системы парковок, включая случаи приоритетного движения общественного транспорта, явля-

ется одним из наиболее интересных и актуальных направлений в области развития теории транспортных сетей городов. В связи с этим, уже в течение нескольких лет на базе Транспортной Лаборатории ИрГТУ изучаются методы моделирования парковок.

Представленная выше модель не является конечной и в дальнейшем должна получить развитие. Возможность ее детализации обуславливается большим количеством характеристик, описывающих составляющие передвижения и связанных со многими разделами теории проектирования транспортных систем городов.

В результате данного исследования предполагается получить объемлющую модель, позволяющую рассматривать разные нюансы задачи при различных ограничениях.

Литература

1. Ефремов И.С. Теория городских пассажирских перевозок: Учеб. пособие для вузов. М.: Высш. школа. 1980. – 535 с.
2. Куприянова А.Б., Левашев А.Г., Михайлов А.Ю. К вопросу о моделировании системы парковок // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния: Матлы XIII междунар. науч.-практ. конф. - Екатеринбург: Комвакс АМБ, 2007. – С. 115 – 119.
3. Тарасюк Ю.В. Повышение эффективности функционирования стоянок автомобильного транспорта: Дис. ... канд. техн. наук: - Иркутск, 2004.-238 с.
4. Фадеев Д.С. Разработка методов оценки и моделирование инвестиционной деятельности в парковочном комплексе крупных городов: Дис. ... канд. экон. наук: - Иркутск, 2005.-152 с.
5. Arnott, R., Rowse, J., 1999, Modeling parking // Journal of urban economics, 45 (1), pp. 97-124.
6. Gillen, D.W., parking policy, parking location decisions and the distribution of congestion // transportation 7, 1978, pp. 69-85.