

**УДК 625.712**

А.Б. Куприянова, А.Г. Левашев, Д.С. Фадеев.

Иркутский государственный технический университет. Иркутск, Россия

**Оптимизационная модель транспортного обслуживания центра  
крупного города в условиях приоритета общественного транспорта и си-  
стемы перехватывающих стоянок.**

A. Kupriyanova, A. Levashev, D. Fadeev

Irkutsk State Technical University, Irkutsk, Russia

*The results of the city center transport system modeling are presented in the article. The model takes into account the priority of public transport in the center and park-and-ride system around it. There are some examples of the results of the modeling.*

Новые экономические условия и рост уровня автомобилизации населения выдвигают принципиально новые задачи совершенствования технологий и организации транспортного обслуживания городов России.

Процесс автомобилизации в России сопряжен с негативными процессами, к числу которых относится перегруженность улично-дорожных сетей центров городов. Таким образом, российские города уже столкнулись с проблемами, характерными для крупных городов стран с высоким уровнем автомобилизации.

Еще три десятилетия тому назад основное внимание уделялось улучшению условий движения автомобильного транспорта (увеличению пропускной способности улично-дорожной сети (УДС), повышению скорости сообщения) и техническим аспектам решения этой задачи. Такой подход привел к чрезмерным затратам на дорожную инфраструктуру и упадку общественного транспорта.

В настоящее время используется ряд мероприятий, позволяющих снижать нагрузки на УДС и интенсивность движения в городских центрах и увеличить привлекательность общественного пассажирского транспорта, начиная с градостроительного и технического проектирования и кончая административной деятельностью муниципалитетов. Непосредственно к компетенции организации дорожного движения (ОДД) можно отнести: ограничение движения тяжелых автомобилей, регламентирование паркования, ограничение скорости движения, обеспечение приоритета общественного пассажирского транспорта средствами регулирования.

В современной зарубежной практике организации транспортного обслуживания деловых центров городов (Central Business District - CBD) и центров исторических городов все большее применение получает приоритет общественного пассажирского транспорта в сочетании с перехватывающими парковками (Park and Ride). Использование этого опыта в российских городах становится все более актуальным.

Проектирование организации приоритетного движения пассажирского общественного транспорта и системы перехватывающих парковок требуют инструментария, позволяющего определять оптимальные решения.

Одним из характерных примеров работ, в которых рассматривалось моделирование системы стоянок в районе центра города, является статья авторов R. Arnott и J. Rowse.

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

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 ко-

торого водитель начинает поиск парковочного места;  $l$  – время, затрачиваемое на посещение объекта тяготения, в течение которого автомобиль находится на стоянке;  $\pi^* / \mu \bar{x}$  – параметр, учитывающий возникновение потребности в поездках в центр города, исходя из заданной авторами планировочной структуры города и плотности городской транспортной сети (ГТС).

Оптимальное состояние транспортной системы, обслуживающей центр, определяется как минимум затрат времени населения на передвижения в центр. Данная работа, основана на следующих положениях:

- рассматривается однородная городская среда;
- два конкурирующих вида передвижений:
  1. передвижения пешком;
  2. передвижения с использованием индивидуального транспорта;

Предлагаемая оптимизационная модель транспортного обслуживания центра рассматривает неоднородную городскую среду и формулируется следующая постановка задачи:

- в центральной части города вводится приоритет общественного транспорта;
- размер зоны приоритета ГПТ принимается с учетом нормативов пешеходной доступности – от границы зоны до ее центра, т.е. радиуса пешеходной доступности;
- в зону приоритета ГПТ ограничивается доступ легкового транспорта, а перехватывающие стоянки размещаются по границе зоны приоритета;
- критерий нахождения оптимума – минимум затрат времени на передвижения в центр.

В качестве конкурирующих способов передвижения предлагается применять передвижения с использованием общественного транспорта ( $q=1$ ) и передвижения с использованием индивидуального транспорта и системы перехватывающих стоянок ( $q=2$ ). Оптимальным считается решение транспортного об-

служивания, обеспечивающее условие минимизации суммарных передвижений в центр:

$$\min \sum_j \sum_i \sum_q x_{ijq} t_{ijq} = \sum_i \sum_j x_{ij} \left[ (1 - Qp) t_{ijq} + Qp \cdot t_{ijq} \right], \quad (1)$$

где  $x_{ij}$  – количество поездок из расчетного транспортного района  $i$  (вне центра) в расчетный транспортный район центра  $j$ ;  $t_{ijq}$  – полные затраты времени на передвижение из района  $i$  в район  $j$  при использовании вида транспорта  $q$ ;  $i$  – индексы районов убытия,  $i = 1, 2, \dots, k$ ;  $j$  – индексы районов принадлежащих центру,  $j = k + 1, k + 2, \dots, k + m$ ;  $Q$  – уровень автомобилизации, авт/1000 жит.;  $p$  – заполнение легкового автомобиля.

Правило, по которому часть пользователей индивидуального автомобильного транспорта отказывается от его применения и пользуется общественным транспортом, зависит от обеспеченности местами парковки. В данной работе предполагается 100% обеспечение спроса на места на перехватывающих стоянках.

Передвижения на общественном транспорте  $t_{ij1}$ , включают в себя время подхода до остановочного пункта, время ожидания, время поездки, время подхода от остановочного пункта до места назначения.

Время подхода до остановочного пункта зависит от плотности маршрутной сети города  $F_l$ . На плотность маршрутной сети накладываются двухсторонние ограничения  $0 < F_l < F_{l \max} = 2,5 \text{ км/км}^2$ .

Расчеты времени подхода к остановочному пункту (ОП) тесно связаны с расположением их на транспортной сети, нормированием радиусов пешеходной доступности и транспортной обслуженности территории города. “Методические указания по проектированию сетей общественного транспорта, улиц и дорог” ЦНИИП градостроительства рекомендуют принимать максимально допустимое расстояние пешеходного подхода к ближайшим остановкам МПТ в районах с капитальной многоэтажной застройкой (в среднем более двух этажей) равным 500 м и в районах с малоэтажной (усадебной) застройкой – 700

м., причем с учетом непрямолинейности подходов их следует сокращать на 20%, т.е. принимать соответственно равными 400 и 560 м.

Время подхода от остановочного пункта до места назначения зависит плотности маршрутной сети центра  $F_2$ , при условии  $0 < F_2 < F_{2max} = 4,5$  км/км<sup>2</sup>.

Время ожидания может колебаться в зависимости от интервалов движения общественного транспорта, либо являться постоянной величиной.

Чтобы получить достаточно малое время, нужно иметь небольшую плотность сети. Но уменьшение плотности сети приводит к увеличению зоны пешеходного движения и уменьшению пешеходной доступности транспортных линий. Оптимальную плотность транспортной сети определяют по критерию минимума общих затрат времени в корреспонденциях с учетом капитальных затрат и эксплуатационных расходов, которые растут вместе с ростом плотности сети  $F$ . Время поездки зависит от двух величин - от расстояний по сети между районами  $i$  и  $j$ , а также скорости сообщения.

Очевидно, что плотность транспортной сети  $F$  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  $F$ :

$$V_{сообщ} = \frac{3600 \cdot l_{ij}}{\frac{l_{ij} \cdot 3600}{V_{разреш.}} + \frac{t_{з.ср.} \cdot l_{ij} \cdot F \cdot P + 2 \cdot \sqrt{P}}{2P} + \frac{l_{ij} \cdot t_{обс.ср.}}{l_{ост.}}}, \quad (2)$$

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  $t_{ij2}$ , включают время подхода к постоянному месту хранения автомобиля, время поездки, время подхода к месту назначения.

Время подхода к месту хранения зависит от плотности размещения гаражей, т.е. от средней длины подхода.

Скорость сообщения на индивидуальном транспорте определяется по (2) также как и для общественного транспорта при условии, что среднее время обслуживания на остановочных пунктах равно нулю.

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

Решением такой транспортной системы является минимизация общих затрат населения на передвижение в центр города при различных ограничениях. В качестве конкурирующих способов передвижения предлагается применять передвижение с использованием общественного транспорта и передвижения с использованием индивидуального транспорта и системы перехватывающих парковок.

Исходными данными для решения оптимизационной задачи являются:

1. матрица корреспонденций;
2. кривая расселения.

Для оценки спроса на поездки в городской центр проведены анкетное обследование пользователей общественного и индивидуального транспорта, а также обследования уличных и внеуличных стоянок. На основе полученных данных была рассчитана матрица корреспонденций.

В результате моделирования получены зависимости входных данных модели на затраты времени населения на достижение центра.

Ограничение допустимых затрат времени на передвижения порождает целый ряд требований к развитию сети магистральных улиц городского и район-

ного значения, которые обслуживают маршрутный пассажирский транспорт. Плотность сети линий наземного общественного пассажирского транспорта на застроенных территориях необходимо принимать в зависимости от функционального использования и интенсивности пассажиропотоков, как правило, в пределах 1,5-2,5 км/км<sup>2</sup> (СНиП 2.07.01-89).

Увеличивая значение плотности маршрутной сети с 0,995 км/км<sup>2</sup> до максимального ограничения, т.е. 2,5 км/км<sup>2</sup>, затраты на достижение центра возрастают. Это обусловлено снижением скорости сообщения, т.к. в данной модели скорость сообщения  $V_{сообщ}$  предлагается рассматривать как функцию от плотности транспортной сети  $F$ . Из-за снижения скорости сообщения увеличиваются время подхода к остановочному пункту и время поездки как на общественном, так и на индивидуальном транспорте. При этом, если повысить эффективность работы перекрестка и остановочных пунктов ГПТ, т.е. уменьшить среднюю задержку на перекрестке и время обслуживания на остановочном пункте, скорость сообщения увеличится.

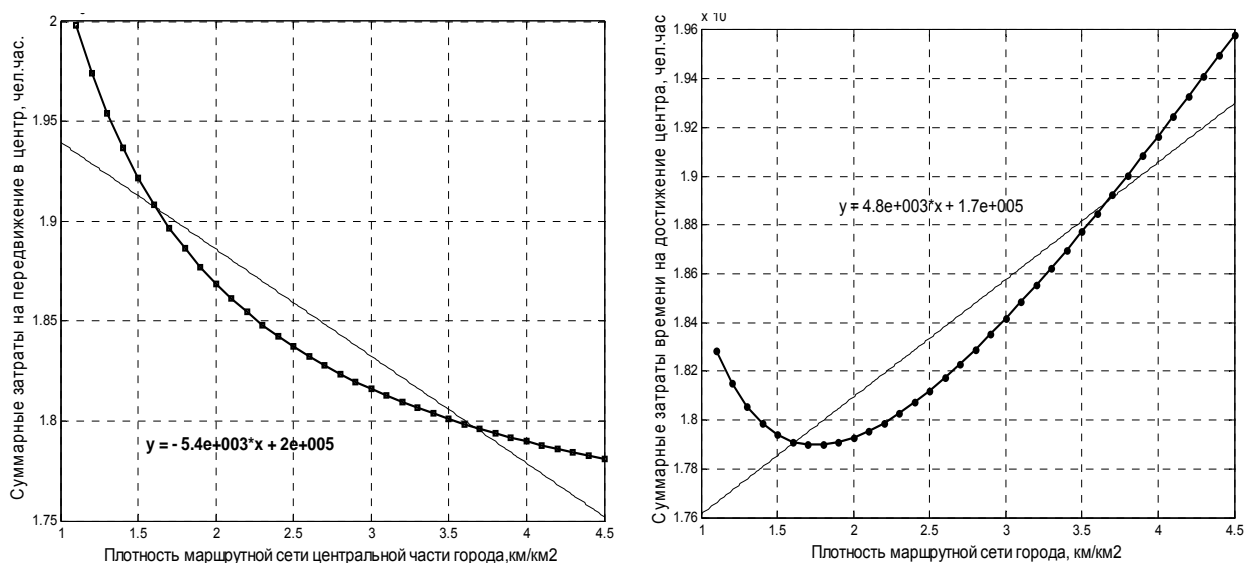


Рис. 1. Зависимости: а) - общего времени достижения центра при изменении маршрутной сети центра; б) - общего времени достижения центра при изменении маршрутной сети города (на примере г. Иркутска)

При изменении плотности маршрутной сети центра с 1,94 км/км<sup>2</sup> до максимального ограничения, т.е. 4,5 км/км<sup>2</sup> суточные суммарные затраты времени населения на передвижение в центр на общественном транспорте снижаются.

После установления влияния параметров УДС и сети ГПТ на затраты времени на передвижения в центр моделировалось влияние характеристик постоянного хранения автомобилей.

Размещение мест постоянного хранения автомобиля влияет на суммарные затраты времени на достижение центра. Чем ниже плотность размещения мест постоянного хранения автомобиля, тем выше затраты на время подхода к месту хранения, а следовательно это ведет и к увеличению суммарных затрат времени. Оптимум достигается при плотности постоянного хранения автомобилей равной 2 ед/км<sup>2</sup>. Основным критерием плотности размещения гаражей является зона пешеходной доступности равной 500м.

При выполнении анализа подвижности населения, а также при анализе распределения пассажирских и транспортных потоков по УДС города, территорию города необходимо поделить на, так называемые, расчетные транспортные районы (транспортные зоны).

Территория Иркутска предварительно была разделена на 86 транспортных районов, 13 укрупненных районов. Центром города мы принимаем 1 - й транспортный район (зона). В центральной части выделяется участок с приоритетом общественного транспорта. В 1-й транспортный укрупненный район (зону) входят 13 зон, в участок выделенного центра входят 4 зоны. Данные зоны выделяются исходя из матрицы корреспонденций – в них наблюдается наибольшее число корреспонденций.



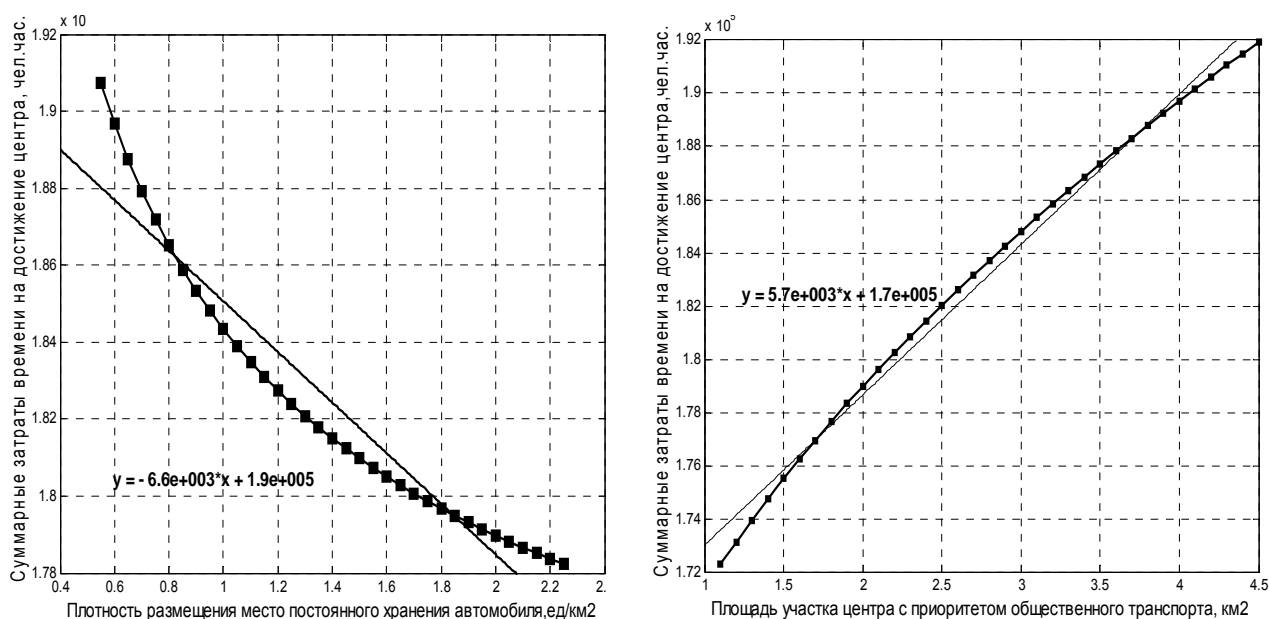


Рис. 2. Зависимости: а) - общего времени достижения центра при изменении площади участка выделенного центра с приоритетом общественного транспорта; б) - общего времени достижения центра при изменении плотности размещения мест постоянного хранения автомобиля

В данные зоны запрещается доступ индивидуального транспорта, а по периметру организуется система перехватывающих парковок. Главным критерием выбора выделенного участка центра, кроме количества корреспонденций, является показатель пешеходной доступности – 500 метров. Площадь существующего центрального района, включающего в себя 13 зон, составляет 5 км<sup>2</sup>. Предложенный выделенный участок центра имеет площадь 1,56 км<sup>2</sup>, следовательно, затраты на достижение центра снижаются.

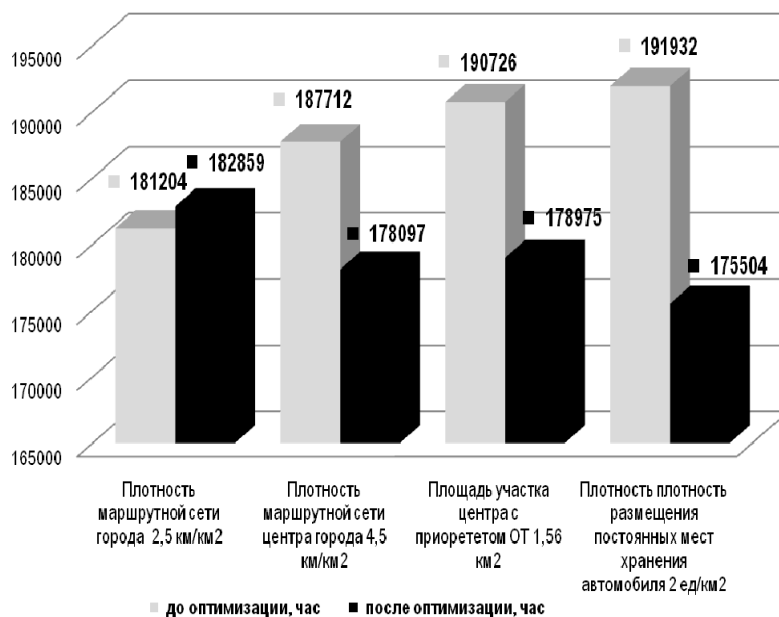


Рис. 3 . Оптимальные значения параметров, обеспечивающие снижение суммарных затрат времени.

Из рис. 3 видно, что наиболее эффективным мероприятием по снижению затрат времени населения на достижение центра является – выделение участка с приоритетом общественного транспорта.

Выполненное исследование:

- Доказало, что принципиально возможно рассмотрение задачи транспортного обслуживания центра крупного города в формализованном виде с учетом количества факторов характеризующих УДС, систему ГПТ, систему хранения индивидуального транспорта.

- Позволило установить взаимосвязь между различными параметрами УДС, системы ГПТ и системы хранения индивидуального транспорта на затраты времени на передвижения в центр и определить оптимальное решение транспортного обслуживания центра.

Обследованим

- установлены затраты времени на передвижения в городской центр Иркутска и структура затрат на передвижения;
- установлены наиболее неблагоприятные районы г. Иркутска по критерию затрат времени на передвижения в центр;

- установлены границы зоны приоритетного движения городского пассажирского транспорта (ГПТ). Критерий выделения границ – количество корреспонденций в центр, полученных в результате расчета матрицы корреспонденций;

- установлено, что для случая городского центра г. Иркутска изменение следующих параметров приводит:

- изменение плотности маршрутной сети города с  $0,995 \text{ км/км}^2$  до  $2,5 \text{ км/км}^2$  приводит к увеличению суммарных затрат времени на достижение центра, это связано со снижением скорости сообщения на общественном и индивидуальном транспорте;

- изменение плотности маршрутной сети центра города с  $1,94 \text{ км/км}^2$  до  $4,5 \text{ км/км}^2$  приводит к снижению суммарных затрат времени на достижение;

- изменение плотности размещения постоянных мест хранения автомобиля с  $0,5 \text{ ед/км}^2$  до  $2 \text{ ед/км}^2$  приводит к снижению суммарных затрат времени на достижение центра;

- выделение участка центра с приоритетом общественного транспорта площадью  $1,56 \text{ км}^2$  приводит к снижению суммарных затрат времени на достижение центра.

### Список литературы

1. Михайлов А.Ю., Головных И.М. Современные тенденции проектирования и реконструкции улично-дорожных сетей городов.- Новосибирск: Наука, 2004. – 267с., ил.
2. Arnott,R., Rowse,J., 1999, Modeling parking//Journal of urban economics,45(1), pp.97-124.
3. Gillen, D.W., parking policy, parking location decisions and the distribution of congestion // transportation 7, 1978, pp. 69-85.
4. PIARC: XXth World Road Congress. Montreal, 3 – 9 September./ Transportation and Urban Space Planning. / National Reports.20.22.E – 1995. – 487 p.