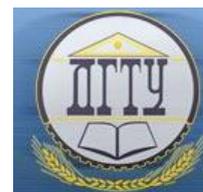


ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ



УДК 656.022

Определение эффективных параметров работы маршрутных такси по заявкам инструментами интеллектуальной транспортной системы

А.А. Мирончук, И.Ю. Солодовченко

Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Аннотация. Решается проблема определения эффективных условий работы маршрутных такси по заявкам с помощью инструментов интеллектуальной транспортной системы (ИТС). Актуальность проблемы обусловлена отсутствием в Российской Федерации методических и практических рекомендаций по организации работы маршрутных такси по заявкам в системе ИТС. При этом во многих зарубежных странах успешно используется система Dial-a-ride (DAR, в переводе с англ. — поездка по звонку, транспорт по заявкам), которая позволяет повысить качество пассажирских перевозок в районах с низким спросом на транспортные услуги. Ключевые параметры работы таких маршрутных такси — полоса обслуживания и прогнозируемое время поездки. С помощью моделирования в программе ArcGIS Network Analyst выявлена зависимость между средней скоростью движения и количеством отклонений от фиксированного маршрута. Инструменты ИТС позволили определить особенности формирования границ полосы обслуживания DAR.

Ключевые слова: маршрутные такси по заявкам, интеллектуальная транспортная система, маршрутизация пассажирских перевозок, полоса обслуживания, прогнозируемое время поездки

Efficient Performance of a Dial-A-Ride Service by Intelligent Transport System Tools

Aleksandr A. Mironchuk, Irina Yu. Solodovchenko

Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Abstract. The article deals with the problem of finding effective parameters for the operation of dial-a-ride service on request with the tools of an intelligent transport system (ITS). The problem is relevant due to the lack of methodological and practical recommendations in the Russian Federation on the organization of the work of dial-a-ride service on request in the ITS system. In many foreign countries the Dial-a ride system (public transport on request) is successfully used, which allows improving the quality of passenger transportation in areas with low transport demand. Key parameters of the operation of dial-a-ride system on request are the boundaries of the service area and the predicted travel time. With the help of modeling in the ArcGIS Network Analyst program, the dependence between the average speed of buses and the number of deviations from a fixed route was revealed. ITS tools made it possible to determine the features of the formation of the DAR service boundaries.

Keywords: minibus taxis on request, intelligent transport system, passenger routing, service lane, predicted travel time

Введение. В соответствии с ГОСТ Р ИСО 14813-1-2011 типовая интеллектуальная транспортная система (ИТС) должна учитывать вопросы, связанные с работой общественного транспорта. Один из его подвидов — транспорт по заказу и совместно используемый транспорт. Это так называемые маршрутные такси по заявкам [1]. Современные отечественные ИТС практически не работают с этим сервисом [2, 3]. Его зарубежный аналог довольно хорошо известен как Dial-a-ride (DAR, варианты перевода с англ. — «поездка по звонку», «транспорт по заявкам») [4]. Он работает на территориях поселений и небольших городов, где регулярные маршруты общественного транспорта мало востребованы и поэтому экономически неэффективны. В некоторых странах DAR задействуют только для перевозки людей с ограниченными физическими возможностями [5].

В обоснование актуальности представленного исследования отметим, во-первых, значительное число в Российской Федерации малонаселенных муниципальных образований, в которых есть проблемы с пассажирским транспортом. Во-вторых, как сказано выше, услуга практически не представлена в отечественных ИТС.

Анализ литературных источников показал, что задача маршрутизации такси по заявкам решается только для статических условий, по критерию расстояния, а это не всегда эффективно [2, 3]. Сервисы ИТС предоставляют информацию об улично-дорожной сети и транспортных потоках в режиме реального времени, что позволяет выполнять динамическую оптимизацию маршрутов по критерию времени движения [6, 7]. Задача данного научного исследования — проверить, насколько инструменты ИТС могут повысить эффективность маршрутных такси по заявкам. Предмет исследования — методы управления и технико-эксплуатационные показатели работы маршрутных такси по заявкам в системе ИТС. Для реализации поставленных задач задействовали инструментарий программы ArcGIS Network Analyst. В результате определили зависимость изменения скорости движения от числа отклонений на маршруте, а также влияние динамической оптимизации маршрутов на ширину полосы обслуживания.

Основная часть

Маршрутные такси по заявкам в системе пассажирского транспорта. В зарубежной практике система маршрутных такси по заявкам чаще всего обозначается как demand responsive transit (DRT, обусловленный спросом транзит), demand responsive service (DRS, служба реагирования на спрос), flexible transport services (FTS, гибкие транспортные услуги) [4]. В рамках данной работы будем использовать упомянутую ранее аббревиатуру DAR. Все эти системы выполняют одну функцию — обслуживание территорий с низким спросом на общественный транспорт, где регулярные маршруты экономически неэффективны. За рубежом DAR занимает промежуточное положение между общественным и необщественным транспортом. Он общественный, если работает с группами пассажиров, и необщественный, если обслуживает только людей с ограниченными физическими возможностями. Парк DAR состоит из автобусов средней и малой вместимости.

Опыт применения маршрутных такси по заявкам в России напрямую связан с проектом «Социальное такси». Однако этот сервис действует в основном в крупных городах. Его специализация — перевозка маломобильных граждан, то есть социальное такси не используется как общественный транспорт [2, 3].

Условие эффективного применения маршрутных такси по заявкам. Согласно [8, 9] маршрутные такси, работающие по заявке в определенной полосе обслуживания, будут эффективны, если выполняется условие:

$$t_{пв} + \frac{k_{пd}(n-1)}{v_{мт}} + \frac{l}{v_{мт}} \leq 2t_{п} + t_{ож} + \frac{l}{v_{а}}, \quad (1)$$

где $t_{пв}$ — время, затрачиваемое пассажиром на посадку и высадку, ч; $k_{п}$ — коэффициент, учитывающий характер планировочной структуры города; d — ширина полосы обслуживания маршрута, км; n — число заездов маршрутного такси за пассажирами за один рейс; $v_{мт}$, $v_{а}$ — скорость маршрутного такси и автобуса, работающего на фиксированном маршруте, км/ч; l — средняя дальность поездки, км; $t_{п}$, $t_{ож}$ — время подхода пассажира к остановке и ожидания автобуса, ч.

Таким образом, в соответствии с выражением (1) необходимо, чтобы время доставки пассажира до места назначения на маршрутном такси по заявке было не выше, чем у автобуса, работающего по фиксированному маршруту.

Моделирование маршрутов движения DAR. В 1979 году Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта сформулировал условие эффективного применения и другие выражения для расчетов работы маршрутных такси в методических указаниях [9]. Их издавали как временные, однако новые редакции все еще не опубликованы. Отсутствие актуальных методик создает сложности при реализации сервиса маршрутных такси по заявкам в современных условиях. Важно определить, как инструменты ИТС могут повысить эффективность работы DAR.

Методические указания 1979 года предполагают использование статических исходных данных, однако в системе ИТС возможно применение динамических показателей. Сервисы ИТС «Мониторинг транспортных потоков» и «Передача информации о дорожном движении» позволяют получить онлайн исходную информацию — фактические значения скорости сообщения и времени движения по каждому отрезку улично-дорожной сети.

Особенно эффективно задействовать динамические исходные данные при решении задач маршрутизации с помощью моделирования [10–12]. Для этого используем модуль Network Analyst программы ArcGIS. В рамках исследования разработана модель улично-дорожной сети, которая представляет собой набор сетевых данных, состоящий из трех типов элементов: ребра (линейные сегменты), соединения и повороты. Атрибуты линейных сегментов: длина, время прохождения, скорость, признак одностороннего движения.

Использовался набор сетевых данных, имитирующий улично-дорожную сеть, состоящую из кварталов со стороной 500 метров. Для каждого ребра генерировалось значение скорости в случайном порядке. Разброс значений был в пределах 15–30 км/ч. Односторонние участки сети не учитывались. На каждом пересечении возможно движение во всех направлениях без ограничений.

При моделировании рассматривался случай, когда маршрутные такси по заявкам выполняют дополнительное обслуживание пассажиров между фиксированными конечными остановочными пунктами с отклонением от направления движения по требованию пассажира. Отклонение связано с посадкой или высадкой.

Работа маршрутных такси по заявкам будет считаться эффективной, только если время поездки окажется меньше, чем в общественном транспорте с фиксированным маршрутом. Выигрыш по времени поездки DAR обеспечивается двумя условиями:

- не нужно останавливаться на всех остановочных пунктах,
- пассажиры не теряют время, чтобы пешком дойти до остановки, а затем от нее до конечной цели поездки.

Кроме того, сервисы ИТС позволяют оперативно изменить маршрут, чтобы объехать пробки и выбрать участки с наименьшей загрузкой.

При построении оперативного маршрута между фиксированными конечными пунктами важно учитывать все ограничения, влияющие на эффективность. Главное из них — максимальное отклонение от фиксированного маршрута. Данный фактор особенно заметно сказывается на времени поездки, поэтому важно обеспечить выполнение перевозки в границах полосы обслуживания. Ее можно определить по выражению (1) с учетом данных табл. 1.

Таблица 1

Данные для расчета ширины полосы обслуживания

t_n , мин	$t_{ож}$, мин	$t_{нев}$, мин	l , км	v_a , км/ч	$v_{шт}$, км/ч	k	n
6	3	0,6	7,5	18	25	1,5	2, 3, 4, 6

Расчет дает следующие значения ширины полосы обслуживания:

- для двух отклонений $d_2 = 5940$ м,
- для трех отклонений $d_3 = 2970$ м,
- для четырех отклонений $d_4 = 2000$ м,
- для шести отклонений $d_6 = 1190$ м.

Таким образом, с увеличением числа отклонений уменьшается ширина полосы обслуживания.

Рассмотрим два сценария построения оптимального маршрута внутри полосы обслуживания.

1. Оптимизация по критерию минимального расстояния. В этом случае нет данных от ИТС, не предоставляется информация о скорости и времени движения по каждому участку сети.

2. Оптимизация по критерию минимального времени движения. В этом случае можно формировать маршрут с учетом реальной ситуации на сети, благодаря информации сервисов ИТС «Мониторинг транспортных потоков» и «Передача информации о дорожном движении».

На рис. 1 и 2 представлены модели для оптимизации маршрута с двумя отклонениями для первого и второго сценария.



Рис. 1. Модель для оптимизации маршрута с двумя отклонениями по критерию минимального расстояния



Рис. 2. Модель для оптимизации маршрута с двумя отклонениями по критерию минимального времени движения (с использованием сервисов ИТС)

Анализируя рис. 2 и 3, можно увидеть, что оптимизация с использованием сервисов ИТС позволяет обойти больше мест с низкой скоростью движения.

Исследование влияния динамической оптимизации маршрутов на скорость и время движения. Чтобы адекватно сравнить статическую и динамическую оптимизацию, для каждого сценария и заданного числа отклонений провели 10 экспериментов со случайным расположением заявок на сети. Результаты усреднялись для дальнейшего сравнения.

На рис. 3 и 4 показано изменение скорости и времени движения при оптимизации маршрута по критериям:
 — минимального расстояния (без использования сервисов ИТС),
 — времени движения (с использованием сервисов ИТС).

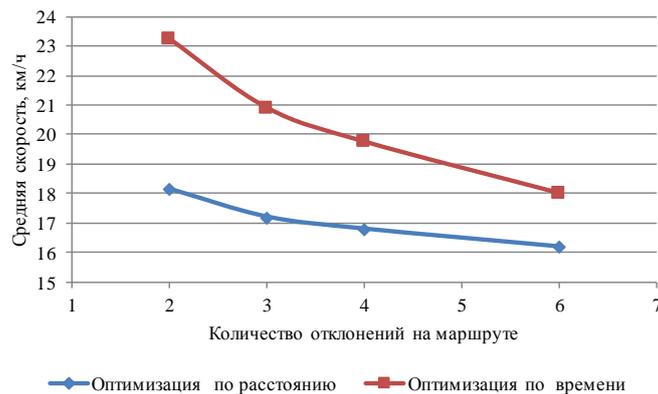


Рис. 3. Изменение скорости движения при оптимизации маршрута по критерию минимального расстояния и времени движения

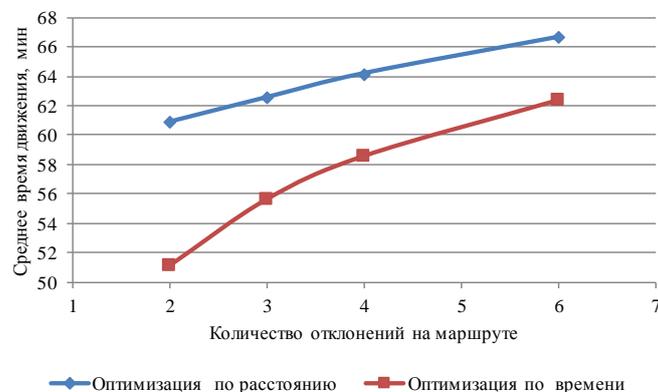


Рис. 4. Изменение времени движения при оптимизации маршрута по критерию минимального расстояния и времени движения

Анализ рис. 3 и 4 позволяет сделать вывод о выигрыше по времени и по скорости при динамической маршрутизации инструментами ИТС. При этом эффект от динамической маршрутизации уменьшается с увеличением числа отклонений.

На рис. 5 представлена зависимость значений прироста средней скорости от количества отклонений при использовании динамической оптимизации маршрута.

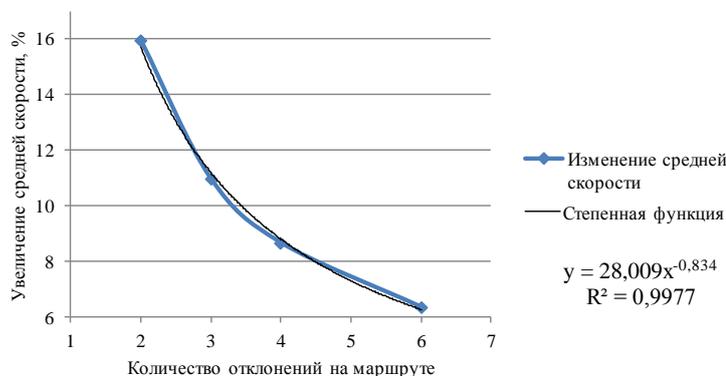


Рис. 5. Зависимость значений прироста средней скорости от количества отклонений при использовании динамической оптимизации по критерию времени. Здесь R^2 — коэффициент детерминации

Таким образом, зависимость на рис. 5 показывает прирост средней скорости от 6,4% до 16% для шести и двух отклонений соответственно. Поскольку средняя скорость доставки пассажиров возрастает, можно говорить и о том, что полоса обслуживания увеличится. Однако нужно учитывать характер формирования границ полосы обслуживания при использовании динамической оптимизации, как показано на рис. 6.

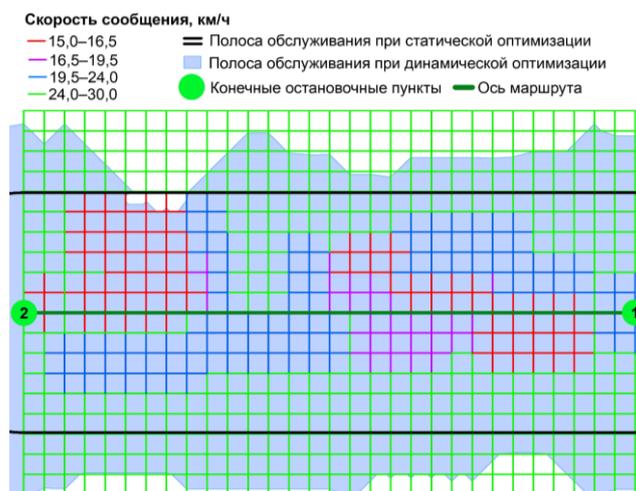


Рис. 6. Сравнение ширины полосы обслуживания для двух отклонений при использовании статической и динамической оптимизации маршрута

Как видно из рис. 6, границы полосы обслуживания при динамической оптимизации будут неровными, волнистыми по форме, а при статической оптимизации они параллельны оси маршрута. При большом числе заявок может возникнуть необходимость формирования нескольких полос обслуживания в одном районе. Отсюда следующий вопрос для исследования: «Как оптимизировать работу маршрутных такси по заявкам в случае наложения нескольких полос обслуживания?».

На рис. 7 представлен пример формирования динамических полос обслуживания для микрорайона Северный в Таганроге.

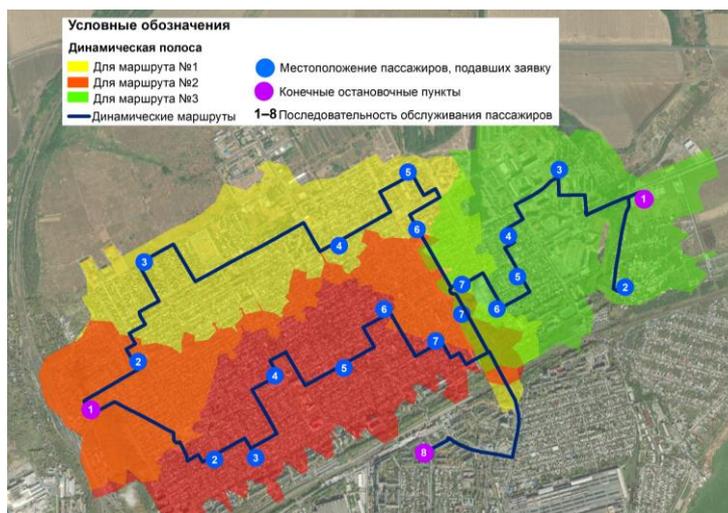


Рис. 7. Разделение микрорайона Северный в Таганроге на три динамические полосы обслуживания при большом числе заявок

Схема, представленная на рис. 7, демонстрирует задачу для следующего этапа исследования. В рамках сервиса «транспорт по заказу и совместно используемый транспорт» необходимо создать алгоритм, который позволит рационально распределять полосы обслуживания, чтобы они не совпадали и не дублировались.

Заключение. Итоги исследования позволяют сделать перечисленные ниже выводы.

— С увеличением числа отклонений скорость снижается.

— Эффективность оптимизации по критерию времени тем выше, чем меньше число отклонений.

— Для эффективного обслуживания пассажиров DAR маршрут не должен выходить за границы полосы обслуживания.

— По сравнению со статической полосой обслуживания динамическая имеет более широкие границы в районах с высокой скоростью сообщения и более узкие — в районах с низкой скоростью.

— Меньшее число отклонений дает более широкую полосу обслуживания.

— Чем шире границы полосы обслуживания, тем выше эффективность динамических маршрутов, построенных по критерию времени движения.

— При большом числе заявок требуется разделение района на несколько полос обслуживания.

Все это подтверждает гипотезу о том, что инструменты ИТС могут повысить эффективность работы маршрутных такси по заявкам.

Библиографический список

1. ГОСТ Р ИСО 14813-1-2011. *Интеллектуальные транспортные системы. Схема построения архитектуры интеллектуальных транспортных систем. Часть 1. Сервисные домены в области интеллектуальных транспортных систем, сервисные группы и сервисы.* Москва: Стандартинформ; 2018. 31 с.

2. Волков В.С. Особенности организации и управления работой маршрутных такси по заявкам. *Вестник Воронежского государственного технического университета.* 2009;5(10):69–71. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-organizatsii-i-upravleniya-rabotoy-marshrutnyh-taksi-po-zayavkam> (дата обращения 20.04.2023).

3. Нургалиев Е. Р., Данилов С.В., Кашманов Р.Я. Обоснование необходимости организации в городах России системы маршрутных таксомоторных перевозок пассажиров по предварительным заказам. *Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия: Наземные транспортные системы.* 2015;12(6):54–56.

4. Ho Sin C., Szeto W.Y., Kuo Yong-Hong, Leung anny M.Y., Petering Matthew, Tou Terence W.H. A survey of dial-a-ride problems: Literature review and recent developments. *Transportation Research Part B: Methodological.* 2018;111:395–421. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2018.02.001>

5. *Dial-A-Ride. Users Guide for the City of Fort Collins.* URL: http://www.ridetransport.com/img/site_specific/uploads/DARUsersGuide.pdf (дата обращения: 20.04.2023).

6. Зырянов В.В., Феофилова А.А., Чуклинов Н.Н. Динамическая маршрутизация транспортных потоков как метод снижения транспортной нагрузки на элементы УДС. *Мир транспорта и технологических машин.* 2018;1(60):74–80.

7. Молоканова А. В., Веремеенко Е.Г. Системы глобальной интегральной мобильности (Maas). *Молодой исследователь Дона*. 2019;6(21):68–71.
8. Мун Э.Е., Рубец А.Д. *Организация перевозок пассажиров маршрутными такси*. Москва: Транспорт; 1986. 136 с.
9. Мун Э.Е., Рубец А.Д. *Временные методические указания по организации маршрутных таксомоторных перевозок по заявкам*. Москва: Минавтотранс РСФСР; 1979. 10 с.
10. Чайка Ю.А., Мирончук А.А. Применение имитационного моделирования для эффективного управления работой транспортно-пересадочных узлов. В: *Мат-лы Всерос. (национальной) науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы науки и техники. 2021»*. Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет; 2021. С. 660–661.
11. Häll C.H., Lundgren J.T., Voß S. Evaluating the performance of a dial-a-ride service using simulation. *Public Transport*. 2015;7(2):139–157. <https://doi.org/10.1007/s12469-015-0101-z>
12. Topilin I.V., Volodina M.S. The traffic simulation of regulated road network using navigation systems. *Materials Science Forum*. 2018;931:661–666. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.931.661>

Об авторах:

Мирончук Александр Александрович, старший преподаватель кафедры «Организация перевозок и дорожного движения» Донского государственного технического университета (344000, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), alexexplicit@mail.ru

Солодовченко Ирина Юрьевна, старший преподаватель кафедры «Организация перевозок и дорожного движения» Донского государственного технического университета (344000, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1)

About the Authors:

Aleksandr A. Mironchuk, Senior Lecturer of the Transportation and Traffic Management Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), alexexplicit@mail.ru

Irina Yu. Solodovchenko, Senior Lecturer of the Transportation and Traffic Management Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF)