ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ О ЗАГРУЗКЕ УДС ГОРОДА С УЧЕТОМ ДАННЫХ О ФУНКЦИОНИРОВАНИИ ПРИДОМОВЫХ СТОЯНОК АВТОМОБИЛЕЙ

И.Е. Агуреев, Д.А. Юрченко
ФГБОУ ВО «ТулГУ»,
г. Тула, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Модели загрузки улично-дорожной сети позволяют понять многие транспортные, социальные, экологические и др. проблемы городов. Создание транспортных моделей требует знания природы формирования и функционирования транспортных потоков. В работе сформулирована цель и поставлены задачи для проведения исследования роли придомовых территорий жилых районов г. Тулы как одного из источников формирования городских транспортных потоков; выявления закономерностей влияния стоянок придомовых территорий на загрузку улично-дорожной сети.

Материалы и методы. Основой исследования являются разработки в области прогнозного имитационного моделирования автотранспортных систем. Инструментом для решения поставленных задач используется комплекс автоматизированного проектирования «TransNet», который позволит провести корректировку исходных данных в базовой модели результатами исследований о функционировании стоянок и парковок, расположенных на придомовых территориях.

Результаты. Обоснована потребность в уточнении общепринятой методики определения загрузки городской улично-дорожной сети, в которой учитывалось бы влияние придомовых стоянок и парковок на формирование транспортных потоков. Сформулированы задачи и вопросы, решение которых позволят получить более точные результаты интенсивности транспортных потоков.

Обсуждение и заключение. Усовершенствованная транспортная модель г. Тулы позволит составить прогноз для определения основных параметров работы транспортной системы с учетом динамики выезда транспортных средств с придомовых территорий в разные интервалы времени суток. Предложенный методический инструментарий и алгоритм решения задачи загрузки улично-дорожной сети в квазидинамической постановке поможет в решении существующих транспортных проблем и совершенствовании организации дорожного движения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: моделирование транспортных потоков, стоянки и парковки, придомовые территории.

Поступила 23.10.2019, принята к публикации 17.12.2019.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Агуреев И.Е., Юрченко Д.А. Постановка задачи о загрузке удс города с учетом данных о функционировании придомовых стоянок автомобилей. *Вестник СиБАДИ*. 2019;16(6): 670–679. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-6-670-679>

© Агуреев И.Е., Юрченко Д.А.

Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-6-670-679>

FUNCTIONING OF THE CAR PARKING PLACES NEAR HOUSES: FORMULATION OF THE PROBLEM OF THE ROAD CITY NETWORK

Igor E. Agureev, Dmitry A. Yurchenko
Tula State University,
Tula, Russia

ABSTRACT

Introduction. The load models of the road network make it possible to understand a lot of the transport, social, environmental, and other city problems. Creating transport models requires knowledge of the traffic flows' formation and functioning. The paper formulates a goal and poses tasks for the research conducting of the adjoining territories of residential areas in Tula as one of the urban traffic flows' sources and of the identifying patterns of the parking places near houses' influence on the road network loading.

Materials and methods. The basis of the research was the development in the field of predictive simulation of automobile transport systems. The authors used complex of computer-aided design "TransNet", which allowed adjusting the initial data in the base model by the results of the parking places' functioning.

Discussion and conclusions. As a result, the improved transport model of Tula allows making the forecast for determining the main parameters of the transport system taking into account the dynamics of vehicles' local area departure at different time intervals. Moreover, the proposed methodological tools and algorithm for solving the problem of the road network loading in a quasi-dynamic setting helps to solve existing transport problems and to improve the traffic organization.

KEYWORDS: traffic flow modeling, parking, house adjoining territories.

Submitted 23.10.2019, revised 17.12.2019.

The authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation: Agureev Igor E., Yurchenko Dmitry A. Functioning of the car parking places near houses: formulation of the problem of the road city network. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2019;16(6): 670–679 (in Russ.). <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-6-670-679>

© Agureev I.E., Yurchenko D.A.

Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Удовлетворение спроса пользователей, т. е. обеспечение перемещения нужного количества грузов и пассажиров, является главным назначением улично-дорожной сети¹ [1, 2]. Процесс передвижения автотранспортных средств по улично-дорожной сети (УДС) представляет собой достаточно разнообразное и сложное явление, что обусловлено множеством факторов, а именно: количеством и качеством транспортных средств, дорожными условиями, психологическими качествами и опытом водителя и пр. Повышение требований, предъявляемых к качеству организации дорожного движения в городах, является фактором развития методов транспортного планирования, основанных на моделях «транспортного спроса». Такие модели могут быть улучшены за счет получения детальной динамики центров генерации отправок (поездов). Поиск закономерностей, присущих автотранспортным потокам на одном и том же участке УДС в одни и те же отрезки времени характерных часов суток, является важной составляющей при изучении функционирования транспортных макросистем², одним из вариантов которых можно считать распределение автомобильного транспорта на УДС (равновесное случайное заполнение участков УДС транспортными средствами). При этом стоянки, парковки и др. источники и стоки транспорта в более широком смысле представляют собой, с позиции теории макросистем, отдельные аспекты состояний элементов (например, если автомобиль – это элемент системы, а состояние – принадлежность его конкретной транспортной зоне, то парковка – это и есть транспортная зона – источник транспортного потока (ТП)).

Очевидно, что динамика ТП тесно связана с динамикой источников и стоков транспорта. Отсюда следует необходимость и актуальность более глубокого изучения характера функционирования стоянок и парковок. Если функционирование отдельно расположенных стоянок и парковок изучено достаточно подробно³ [3, 4, 5], то стоянки на придомовых

территориях, стихийно возникающие в жилых городских районах, исследованы недостаточно, тогда как именно они являются значительным источником транспортных средств на УДС в утренние часы. Целью данной работы является обоснование необходимости создания методики транспортного планирования для решения задач модернизации УДС и основанной на экспериментальной динамике функционирования стоянок и парковок индивидуальных транспортных средств. **Объектом исследования** является автотранспортная система г. Тулы, содержащая УДС, а также совокупность источников-стоков индивидуального транспорта.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Теоретической основой исследования являются разработки в области прогнозного имитационного моделирования автомобильных транспортных систем (АТС), методы решения задачи загрузки УДС, теория макросистем, а также методы экспериментальных исследований транспортных систем и анализа данных.

Мощным инструментом для исследования транспортной системы является использование моделей функционирования объектов этих систем. Модели «транспортного спроса» служат одним из средств для эффективного решения следующих задач в области организации жизненного пространства крупных городов^{4,5} [6, 7, 8]:

- *внесение* изменений в функционирование городской транспортной системы в случае изменения внешних транспортных связей (например, строительство объездной дороги и вывод транзитных автомобильных потоков за пределы города или вынос крупных объектов тяготения за городскую черту);
- изменение работы транспортной системы с введением в эксплуатацию новых элементов дорожной сети;
- сохранение транспортных условий в транспортной системе города при строительстве нового жилого района или изменения расположения центра тяготения с большой емкостью;

¹ Попков Ю.С. Теория макросистем. Равновесные модели. Стереотип. 2015. 320 с.

² Попков Ю.С. Теория макросистем. Равновесные модели. Там же.

³ Малоян Г.А. Основы градостроительства. М.: Ассоциации строительных вузов, 2004. 120 с.

⁴ Алиев А.М., Попков Ю.С., Швецов В.И. Компьютерные модели развития города. СПб.: Наука, 2003. 78 с.

⁵ Якимов М.Р. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов. Логос, 2013. 159 с.

- изменение распределения ТП при временном закрытии или ликвидации какого-то элемента транспортной системы;
- отражение на работе транспортной системы различных ограничений на передвижение по городской УДС;
- эффект от создания и развития автоматизированных систем управления дорожным движением;
- эффект от совершенствования элемента УДС (выполнение перепланировки транспортных узлов, расширение и обустройство проезжей части городских улиц и т.п.);
- влияние изменений в организации дорожного движения на пропускную способность улиц (например, введение ограничений на направления движения автомобилей, оптимизация работы светофорных узлов и т.п.).

При решении любых из перечисленных задач обязательно возникает необходимость расчета количества автомобилей, находящихся на УДС. Такой расчет может быть сделан различными способами, при этом погрешность решения данных задач высока (часто не ниже 20%). Для повышения точности моделирования требуется переход к динамической постановке, а также необходимость более глубокого изучения характера функционирования источников и стоков транспорта как функций времени (в том числе стоянок и парковок). Повышение точности прогнозирования в предлагаемой модели требует более полной детализации графовой модели УДС за счет увеличения числа узлов и дуг. В этом случае на графе появляются жилые кварталы города с придомовыми территориями и именно они являются основными источниками транспортных средств в утренние часы, а не промышленные предприятия, торгово-развлекательные центры, банки, офисы, учебные заведения и пр. В расчетах обычно используются допущения, учитывающие населенность транспортного района и уровень автомобилизации в данном городе. Моделирование потоков на УДС в конкретный интервал времени требует уточненного анализа числа автомобилей в сети, поэтому представляется важным уточнить традиционную постановку задачи о загрузке УДС.

Применение транспортных моделей невозможно без использования принципов компьютерного моделирования ТП. Одним из немногих программных продуктов транспортного моделирования, применяющихся при ре-

шении задач прогнозирования транспортного спроса, градостроительных задач, является разработанный учеными Института системного анализа РАН программно-аналитический комплекс (ПАК) «TransNet»⁶. Объектами моделирования «TransNet» служат ТС крупных городов и городских агломераций, а основное назначение комплекса заключается в прогнозировании интенсивности автомобильных и пассажирских потоков в транспортных сетях. ПАК «TransNet» *позволяет* решить указанные ниже основные типы задач:

1. Предложения по изменению и оценке городской градостроительной ситуации:

- рекомендации по размещению новых жилых или иных районов, оптимизация ёмкости уже существующих районов;
- оптимизация размещения объектов притяжения населения;
- выявление доступности различных территорий относительно жилых районов, мест труда и иных объектов притяжения;
- нахождение удельного веса различных пользователей в ТП, заполняющем дугу на графе.

2. Предложения по изменению в структуре транспортной системы:

- влияние ввода в эксплуатацию новых участков УДС, изменение характеристик участков;
- влияние внесения изменений в городские сети пассажирского транспорта;
- влияние временного или постоянного закрытия некоторых участков УДС.

3. Предложения по изменению в организации дорожного движения:

- влияние увеличения или уменьшения интервалов движения общественного пассажирского транспорта;
- влияние ведения одностороннего движения на отдельных участках УДС города;
- влияние ведения различных ограничений на проезд (скоростных и др.);
- влияние изменений в организации дорожного движения в узлах УДС.

Перечисленные задачи полностью соответствуют задачам, которые решаются при построении любой транспортной модели (приведены выше).

Результатами моделирования в среде «TransNet» являются:

- матрицы корреспонденций между различными районами города для различных ви-

⁶ Швецов В.И. TransNet. Инструкция пользователя. М. : ИСА РАН. 2012. 249 с.

дов транспорта в любые интервалы времени суток;

- распределение корреспонденций в АТС по конкретным путям;
- полные ТП на всех элементах сети;
- время и скорости передвижений по каждой дуге и для каждого поворота;
- различные параметры, характеризующие работу транспортной сети.

Теоретические и экспериментальные исследования по созданию базовой модели загрузки УДС г. Тулы приведены в работах [9, 10, 11], где для обработки результатов экспериментальных исследований применялся ПАК «TransNet». Распределение автомобильных потоков осуществлялось с использованием принципа равновесного распределения нескольких классов пользователей в транспортной системе. Принцип равновесного распределения является основным при компьютерном моделировании загрузки транспортной системы, он однозначно определяет ТП на дугах сети, так называемый принцип «дуговых алгоритмов». Используемый в ПАК «TransNet» метод Франка-Вульфа, описание которого приведено в [12, 13], является наиболее распространенным дуговым алгоритмом.

В соответствии с приказом Министерства транспорта РФ от 13 ноября 2018 г. № 406 «Об утверждении классификации работ по организации дорожного движения и о внесении изменений в классификацию работ по капитальному ремонту, ремонту и содержанию автомобильных дорог, утвержденную приказом Минтранса России от 16 ноября 2012 г. № 402» при моделировании ТП проводятся следующие работы:

- предварительный анализ и выбор средств программного обеспечения для моделирования;
- сбор и подготовка исходных данных для построения модели;
- ввод полученных данных в модель;
- верификация модели;
- валидация модели;
- выполнение экспериментов, интерпретация и анализ их результатов;
- прогнозирование и построение модели перспективной ситуации (при необходимости);
- формирование отчетных материалов;
- сопровождение модели, актуализация данных.

Важнейшим пунктом из этого перечня работ является сбор и подготовка исходных данных для моделирования, который включает в себя выполнение следующих мероприятий:

- выявление и размещение точек притяжения, а именно: мест проживания и приложения труда населения города, мест культурно-бытового обслуживания и др.
- определение количества отправок/прибытий из/в источников/стоков автотранспорта;
- описание улиц и дорог, составляющих транспортную сеть района, включающее в себя характеристики проезжих частей, организацию дорожного движения;
- описание маршрутов следования и остановочных пунктов общественного пассажирского транспорта с интервалами отправления и др.

Корректировка исходных данных в уточняемой базовой транспортной модели, их уточнение учетом автомобилей, покидающих придомовые стоянки в утренние часы, составляет одну из задач предстоящего исследования о загрузке УДС г. Тулы. Решение это делится на следующие этапы:

- 1) создание графовой модели УДС и описание ее характеристик;
- 2) построение матрицы корреспонденций и дополнительных матриц (расстояний, длин);
- 3) последовательное решение задачи о загрузке УДС с калибровкой полученных результатов;
- 4) представление результатов расчетов в виде картограмм, графиков, таблиц;
- 5) проведение анализа результатов расчетов, формулировка выводов и предложений.

Графовая модель (рисунок) составлена на основе карты г. Тулы с соблюдением геометрии УДС, созданию графа предшествовало:

- обследование улиц и дорог транспортной сети;
- выявление основных выездов из города (шоссе), определение по нормативным документам их категорий;
- выявление магистральных улиц и улиц внутрирайонного значения;
- составление характеристик улиц и дорог;
- разделение исследуемой территории на условные транспортные районы.

Рисунок – Граф УДС г. Тулы с обозначением объектов притяжения

Figure – Graph of the Tula's road network with the objects' designation

Этап построения матриц включает в себя создание:

- матрицы расстояний – элементы этой матрицы показывают в километрах кратчайшие расстояния между районами;
- матрицы дальностей обобщенных цен – каждый элемент матрицы содержит данные о времени в минутах, затраченном на преодоление пути между районами. Базируется на матрице межрайонных расстояний и ценовых функциях узлов и перегонов;
- матрицы корреспонденций – элементы матрицы показывают общий объем передвижений между районами (независимо от конкретных маршрутов передвижения). Экспортируется в программу как поэлементный список.

Расчет матрицы корреспонденций проводился с помощью запросов, построенных на языке SQL, для базы данных, сформированной по информации о проживании и местах работы населения г. Тулы.

Усовершенствование базовой модели загрузки УДС г. Тулы для отдельных ее участков, объектов, районов требует проведения калибровки модели. Поэтому следующим шагом является детализация и уточнение исходных данных, которые могут быть получены при изучении условий формирования ТП от придомовых территорий, расположенных внутри транспортных районов [14, 15]. Выполнение указанных действий составляет суть предлагаемых изменений в транспортную постанов-

ку задачи о загрузке УДС. Необходимо дать ответы на следующие вопросы, касающиеся характеристик стоянок, возникающих на придомовых территориях:

- размещение, емкость и наполнение стоянок автомобилями;
- характер изменения наполнения стоянок по времени суток;
- влияние стоянок на транспортную загрузку прилегающих улиц по часам суток в рабочие дни.

Для получения ответов на поставленные вопросы требуется решить следующие задачи:

- выбрать метод и способы проведения экспериментального исследования придомовых территорий;
- составить план и программу исследования;
- выполнить анализ жилых районов в Пролетарском, Зареченском, Советском и Центральном административных округах г. Тулы с позиций определения территорий с наибольшей жилой застройкой и высокой плотностью населения, являющиеся источниками образования ТП;
- выявить производственно-торговые предприятия, учебные учреждения, объекты культурно-бытового назначения и др., служащие центрами притяжения, являющиеся стоками ТП;
- определить месторасположение и границы объектов обследования в каждом районе;
- определить расстояния между предполагаемыми источниками и стоками ТП;
- дать характеристику каждому объекту: количество домов, подъездов, квартир, парковочных мест, въездов/выездов;
- зафиксировать для каждого объекта количество припаркованных транспортных средств в вечернее и ночное время суток;
- зафиксировать для каждого объекта количество выезжающих автомобилей из дворовой зоны с 6:00 ч. до 11:00 ч.
- определить транспортную загрузку окружающих улиц при выезде/въезде из обследуемых объектов в утренние часы суток;
- выполнить анализ полученных резуль-

татов экспериментальных обследований и выявить закономерности влияния стоянок придомовых территорий на формирование ТП;

- определить этап и место в алгоритме расчета модели транспортной сети, которые потребуют корректировки;
- внести необходимые изменения и тем самым провести калибровку модели загрузки УДС г. Тулы.

Среди указанных выше в рамках выполняемого исследования в настоящее время реализованы и методически обеспечены задачи, описанные в работах^{7,8} [16].

РЕЗУЛЬТАТЫ

В работе обоснована потребность в уточнении базовой методики определения загрузки городской УДС, в которой учитывалось бы влияние на формирование ТП стоянок и парковок, расположенных на придомовых территориях. Основным отличием предлагаемой методики от традиционной является квазидинамический характер постановки задачи, в которой учитываются реальные зависимости от времени для интенсивностей транспортных потоков придомовых территорий как источников транспорта. Сформулированы задачи и вопросы, решение которых позволят получить более точные результаты интенсивности ТП.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Моделирование в рамках выполненной постановки задачи и с учетом предлагаемых изменений в методику расчета интенсивности автомобильных потоков, находящихся на УДС, позволит составить прогноз основных параметров работы транспортной системы с учетом динамики выезда транспортных средств с придомовых территорий, а именно:

- общие объемы передвижений автомобилей между различными транспортными районами;
- интенсивность автомобильных и пассажирских потоков на всех элементах транспортной сети;
- перегруженность улиц и дорог;
- затраты времени на передвижение между районами, средние скорости и др.

⁷ Агуреев И.Е., Юрченко Д.А. Формирование транспортных потоков в жилых районах города Тулы как источников транспорта // Проблемы исследования систем и средств автомобильного транспорта науч.-практ. конф. Тула : Тульский государственный университет, 2019. С. 43–51.

⁸ Юрченко Д.А. Моделирование загрузки городской улично-дорожной сети с учетом динамики стоков и истоков автомобильного транспорта // Наука и образование: Сохраняя прошлое, создаем будущее науч.-практ. конф. Пенза : ВВУС Наука и Просвещение, 2019. Ч. 1. С. 86–91.

Отметим, что такие прогнозы могут быть составлены для произвольного времени суток и практически для любого отрезка времени в рамках решения различных задач транспортного моделирования [17-21]. Сам прогноз может относиться как к текущему горизонту событий, так и к перспективным. Измеренная динамика формирует процесс загрузки УДС, и знание деталей этой динамики позволяет произвести уточнение общепринятой методики [22-25]. Результаты выполненного эксперимента уже представлены в работе [16], которая детально демонстрирует особенности процесса функционирования придомовой территории как источника транспорта.

Обработка результатов экспериментальных исследований средствами программного комплекса «TransNet» позволит получить картину загрузки УДС г. Тулы, рекомендовать мероприятия по ее совершенствованию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Корчагин В.А., Ляпин С.А. Управление процессами перевозок в открытых социо-природно-экономических автотранспортных системах: монография. Липецк: ЛГТУ, 2007. 261 с.
2. Paluch S. Transportation network reduction. *Transport problems*. V 10, I 2, 2015, pp. 69–74.
3. Зедгенизов А.В., Зедгенизова А.Н. Особенности сбора исходных данных при оценке числа припаркованных автомобилей возле жилых объектов // *Вестник ИргТУ*. 2011. № 12 (48). С. 105–108.
4. Steiner S. Strategic framework of transport development. *Transport problems*.: Tom 2, Zeszyt 1, 2009. pp. 5–14.
5. Tom V. Mathew, K V Krishna Rao. Introduction to Transportation Engineering. TRIP GENERATION NPTEL. May 24, 2006.
6. Холодов Я.А., Холодов А.С., Гасников А.В., Морозов И.И., Тарасов В.Н. Моделирование транспортных потоков, актуальные проблемы и пути их решения // *Труды МФТИ*. 2010. № 4(8). Т. 2. С. 152–162.
7. Carteni A. Urban sustainable mobility. Part 1: rationality in transport planning. *Transport problems*.: V 2, 4. 2014. pp. 39–48.
8. Schiller C. Erweiterung der Verkehrsnachfragemodellierung um Aspekte der Raum - und Infrastrukturplanung – Chancen für eine integrierte Stadt- und Verkehrsplanung (2009). In Tagungsband AMUS 2009, RWTH Aachen, Aachen 24.
9. Агуреев И.Е., Пышный В.А., Швецов В.И. Моделирование загрузки улично-дорожной сети г. Тулы // *Тула: Известия ТулГУ. Технические науки*. 2013. Вып. 6. Ч. 2. С. 112–138.
10. Агуреев И.Е., Митюгин В.А., Пышный В.А. Подготовка и обработка исходных данных для ма-

тематического моделирования автомобильных транспортных систем // *Тула: Известия ТулГУ. Технические науки*. 2014. Вып. 6. С. 119–127.

11. Агуреев И.Е., Богма А.Е., Пышный В.А. Динамическая модель транспортной макросистемы // *Тула: Известия ТулГУ. Технические науки*. 2013. Вып. 6. Ч. 2. С. 139–145.

12. Швецов В.И. Алгоритмы распределения транспортных потоков // *Автоматика и телемеханика*. 2009. № 10. С. 148–157.

13. Popa M. On transport network reliability // *Transport problems*. 2012. V 7, I 3. Pp. 127–134.

14. Мазурин Д.С., Швецов В.И. Структура данных для калибровки транспортной модели города // *Труды ИСА РАН*. 2015. Т. 65. № 1. С. 16–23.

15. Train K.E. *Discrete Choice Methods with Simulation*. Cambridge Books. 2nd edition. Cambridge University Press, 2009.

16. Агуреев И.Е., Юрченко Д.А. Обследование придомовых территорий городских жилых районов как источников формирования автомобильного транспорта // *Мир транспорта и технологических машин*. Орел: Издательство Орловского государственного университета им. И.С. Тургенева, 2018. С. 82–88.

17. Baruah A.K., Traffi Control Problems using Graph Connectivity // *International Journal of Computer Applications*. V.86. № 11, 2014.

18. Bisen S.K., Application of Graph Theory in Transportation Networks // *International Journal of Scientific Research and Management*. № 5 (07), 2017. pp. 6197–6201.

19. Kutil M. Modeling and Optimization of Traffic Flow in Urban Areas. Doctoral Thesis, Prague, January 2010.

20. Thathsarani A.A.T., Lanel G.H.J. A Model To Reduce Traffic Congestion In Colombo City // *International Journal of Scientific and Research Publications*. № 9 (6). 2019.

21. Yamuna M., Raza A., Kanav A.K., Sakthi K.P., Sangam K. Traffic Control System using Maximum Flow Algorithm // *International Journal of Current Engineering and Technology*. № 6 (5). 2016.

22. Bin R., Boyce D. Modeling Dynamic Transportation Networks: An Intelligent Transportation System Oriented Approach. Springer, 1996.

23. Ukkusuri S.V., Ozbay K. Advances in Dynamic Network Modeling in Complex Transportation Systems. Springer Science & Business Media, 2013.

24. Patriksson M. The Traffic Assignment Problem: Models and Methods. Courier Dover Publications, 2015.

25. Ortúzar J.D., Willumsen L.G. *Modelling transport*. JohnWiley & Sons, 2011.

REFERENCES

1. Korchagin V.A., Ljapin S.A. *Upravlenie processami perevozok v otkrytyh socio-prirodno-jekonomichekikh avtotransportnyh sistemah: monografiya* [Management of transportation processes in open socio-natural-economic road transport systems]. Lipeck: LGTU, 2007: 261 (in Russian).

2. Paluch S. Transportation network reduction. *Transport problems*. 2015; V 10, I 2: 69–74.
3. Zedgenizov A.V., Zedgenizova A.N. Osobennosti sbora ishodnyh dannyh pri ocenke chisla pripar-kovannyh avtomobilej vozle zhilyh ob'ektov [Features of the collection of source data when assessing the number of parked cars near residential objects]. *Vestnik IrGTU*. 2011; 12 (48): 105–108 (in Russian).
4. Steiner S. Strategic framework of transport development. *Transport problems*: Tom 2, Zeszyt 1, 2009. pp. 5–14.
5. Tom V. Mathew, K V Krishna Rao. Introduction to Transportation Engineering. TRIP GENERATION NPTEL. May 24, 2006.
6. Holodov Ja.A., Holodov A.S., Gasnikov A.V., Morozov I.I., Taracov V.N. Modelirovanie transport-nyh potokov aktual'nye problemy i puti ih reshenija [Modeling of traffic flows - actual problems and ways of their solution]. *Trudy MFTI*. 2010; 4(8), T. 2: 152–162 (in Russian).
7. Carteni A. Urban sustainable mobility. Part 1: rationality in transport planning. *Transport problems*. 2014; V 2, 4: 39–48.
8. Schiller C. Erweiterung der Verkehrsnachfragemodellierung um Aspekte der Raum - und Infrastruktur-planung – Chancen für eine integrierte Stadt- und Verkehrsplanung (2009). In Tagungsband AMUS 2009, RWTH Aachen, Aachen 24.
9. Agureev I.E., Pyshnyj V.A., Shvecov V.I. Modelirovanie zagruzki ulichno-dorozhnoj seti g. Tuly [Modeling the load of the road network in Tula]. *Tula: Izvestija TulGU. Tehnicheskie nauki*. 2013; 6. Ch. 2: 112–138 (in Russian).
10. Agureev I.E., Mitjugin V.A., Pyshnyj V.A. Podgotovka i obrabotka ishodnyh dannyh dlja matematicheskogo modelirovaniya avtomobil'nyh transportnyh sistem [Preparation and processing of input data for mathematical modeling of automobile transport systems]. *Tula: Izvestija TulGU. Tehicheskie nauki*. 2014; 6: 119–127 (in Russian).
11. Agureev I.E., Bogma A.E., Pyshnyj V.A. Dinamicheskaja model' transportnoj makrosistemy [Dynamic model of a transport macrosystem]. *Tula: Izvestija TulGU. Tehnicheskie nauki*. 2013; 6. Ch. 2: 139–145 (in Russian).
12. Shvecov V.I. Algoritmy raspredelenija transportnyh potokov [Algorithms for the distribution of traffic flows]. *Avtomatika i Telemekhanika*. 2009; 10: 148–157 (in Russian).
13. Popa M. On transport network reliability. *Transport problems*. 2012; 7, I 3: 127–134.
14. Mazurin D.S., Shvecov V.I. Struktura dannyh dlja kalibrovki transportnoj modeli goroda [Data structure for calibrating the transport model of the city]. *Trudy ISA RAN*. 2015; 65. № 1: 16–23 (in Russian).
15. Train K.E. Discrete Choice Methods with Simulation. Cambridge Books. 2nd edition. Cambridge University Press, 2009.
16. Agureev I.E., Jurchenko D.A. Obsledovanie pridomovyh territorij gorodskih zhilyh rajonov kak istochnikov formirovaniya avtomobil'nogo transporta [Inspection of the adjacent territories of urban residential areas as sources of the formation of automobile transport]. *Mir transporta i tehnologicheskikh mashin*. Orel: Izdatel'stvo Orlovskogo gosudarstvennogo universiteta im. I.S. Turgeneva. 2018: 82–88 (in Russian).
17. Baruah A.K., Traffic Control Problems using Graph Connectivity. *International Journal of Computer Applications*. 2014; V.86. № 11.
18. Bisen S.K., Application of Graph Theory in Transportation Networks. *International Journal of Scientific Research and Management*. 2017; 5 (07): 6197–6201.
19. Kutil M. Modeling and Optimization of Traffic Flow in Urban Areas. Doctoral Thesis, Prague, January 2010.
20. Thathsarani A.A.T., Lanel G.H.J. A Model To Reduce Traffic Congestion In Colombo City. *International Journal of Scientific and Research Publications*. 2019; 9 (6).
21. Yamuna M., Raza A., Kanav Anand K., Sakthi K. P., Sangam K. Traffic Control System using Maximum Flow Algorithm. *International Journal of Current Engineering and Technology*. 2016; 6 (5).
22. Bin R., Boyce D. Modeling Dynamic Transportation Networks: An Intelligent Transportation System Oriented Approach. Springer, 1996.
23. Ukkusuri S.V., Ozbay K. Advances in Dynamic Network Modeling in Complex Transportation Systems. Springer Science & Business Media, 2013.
24. Patriksson M. The Traffic Assignment Problem: Models and Methods. Courier Dover Publications, 2015.
25. Ortúzar J.D., Willumsen L.G. Modelling transport. John Wiley & Sons, 2011.

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Статья была подготовлена совместно с заведующим кафедрой ТулГУ «Автомобили и автомобильное хозяйство» Агуреевым Игорем Евгеньевичем в рамках научной деятельности кафедры.

Юрченко Дмитрий Алексеевич. Обоснование методов исследования. Вклад соавтора составляет 70%.

Агуреев Игорь Евгеньевич. Формулировка задач исследования. Вклад соавтора составляет 30%.

AUTHORS' CONTRIBUTION

The article was prepared jointly with Igor E. Agureev, the Head of the Department of the Motor Transport and Motor Industry in Tula State University as part of the scientific activities of the department.

Dmitry A. Yurchenko – justification of research methods; contribution of the co-author is 70%.

Igor E. Agureev – formulation of the problem; contribution of the co-author is 30%.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Агуреев Игорь Евгеньевич – д-р техн. наук, проф., ТулГУ «Тульский государственный университет», заведующий кафедрой «Автомобили и автомобильное хозяйство» (г. Тула, пр. Ленина, 92, e-mail: agureev-igor@yandex.ru).*

Юрченко Дмитрий Алексеевич – аспирант, ТулГУ «Тульский государственный университет» (г. Тула, пр. Ленина, 92, e-mail: yurchenkodev@me.com).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Igor E. Agureev – Dr of Sci. (Engineering), Professor, Head of the Department of the Motor Transport and Motor Industry, Tula State University (Tula, 92, Lenin Ave., e-mail: agureev-igor@yandex.ru).*

Dmitry A. Yurchenko – Graduate Student, Tula State University (Tula, 92, Lenin Ave., e-mail: yurchenkodev@me.com).