

ГОСТЬ НОМЕРА

УДК 656.13

DOI: 10.25198/2077-7175-2019-8-10

О ПОДХОДАХ К ФОРМИРОВАНИЮ ЭФФЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ПАС- ЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ



М.Р. Якимов

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия
e-mail: yakimov@rosacademtrans.ru

***Аннотация.** В статье предпринята попытка сформулировать и показать сложность задачи построения и управления системой пассажирского транспорта на урбанизированной территории. Особым образом предлагается оценивать назначение общественного транспорта через детализацию задач, которые при этом решаются. Представлены концептуальные подходы и требования к субъектам взаимоотношений на различных уровнях построения системы. Описаны этапы построения маршрутной сети городского пассажирского транспорта общего пользования, а также технологии и алгоритмы математического поиска решения. Статья носит обзорный характер.*

***Ключевые слова:** общественный транспорт, маршрутная сеть, научные исследования.*

Для цитирования: Якимов М. Р. О подходах к формированию эффективной системы пассажирского транспорта общественного пользования // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2019. – № 8. – С. 10-18. DOI: 10.25198/2077-7175-2019-8-10.

ON APPROACHES TO THE FORMATION OF AN EFFECTIVE SYSTEM OF PUBLIC TRANSPORT

M.R. Yakimov

Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI), Moscow, Russia
e-mail: yakimov@rosacademtrans.ru

***Abstract.** The article is an attempt to formulate and show the complexity of the task of building and managing a public transport system in an urban area. The article proposes a special way to evaluate the purpose of public transport through the specification of tasks that are being solved. The conceptual approaches and requirements for the subjects of relationships at various levels of system construction are presented. The article describes the stages of designing a route network of public transport, as well as technologies and algorithms for mathematical search for solutions.*

***Keywords:** public transport, route network, research.*

***Cite as:** Yakimov, M.R. (2019) [On approaches to the formation of an effective system of public transport]. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii* [Intellekt. Innovation. Investments]. Vol. 8, pp. 10-18. DOI: 10.25198/2077-7175-2019-8-10.*

Введение

Появившись в середине 19 века, общественный транспорт стал новым явлением в жизни городов, явлением новой формы взаимоотношений между совершенно различными людьми, находящимися в местах компактного проживания и пользующихся

его благами. С тех пор основные принципы функционирования общественного транспорта в городах почти не претерпели каких-либо существенных изменений. Общественный транспорт как отдельная институция остается востребованным в современном городе, что свидетельствует о том,

что с момента своего образования и появления, как отдельного явления, общественный транспорт от вечал и продолжает отвечать основным запросам, возникающим в человеческом обществе, независимо от народности, экономической формации, места и даже времени.

Общественный транспорт стал обычной практикой, привычным благом, наравне с электрификацией, тепло-, водо- и газоснабжением для жителей городов. Трудно представить себе город или городскую агломерацию, в котором не существует общественного транспорта, как и трудно назвать место компактного проживания людей городом, если в нем нет общественного транспорта. В силу этой обыденности, помноженной на универсальность функционирования общественного транспорта при различных политических системах и экономических условиях, вопросы функционирования и развития общественного транспорта не находят должного отражения в современных научных исследованиях, чаще оставаясь элементом политической жизни и разменной монетой в борьбе за электоральные предпочтения людей.

В этой связи представляется интересным не только поиск новых механизмов, инструментов, идей и алгоритмов развития общественного транспорта, повышения эффективности его функционирования, но также и простое терминологическое описание основных аспектов функционирования системы городского пассажирского транспорта общего пользования (ГПТОП) на урбанизированных территориях. Такой формализации требует как само явление общественного транспорта как услуги или общественного блага, так и роль, и место различных субъектов, вовлеченных в процесс перевозок, их влияние на эффективность работы общественного транспорта, его надежность и потенциал развития.

Двойственный характер услуги по перевозке пассажиров

Пункт 7 статьи 16 Федерального закона Российской Федерации от 06.10.2003 № 131-ФЗ «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации» закрепляет за органами муниципального управления городов: «создание условий для предоставления транспортных услуг населению и организация транспортного обслуживания населения в границах городского округа» [1].

Для дальнейшего формулирования целей и задач работы ГПТОП потребуется дополнительная формализация понятия – «услуга», закрепленного в вышеупомянутом законе. В тексте закона уже просматриваются его две части, разделённые союзом «и». Транспортное обслуживание населения городским пассажирским транспортом общего пользования предполагает оказание двух видов услуг:

Первая услуга – услуга по перевозке пассажиров городским пассажирским транспортом общего пользования.

Вторая услуга – услуга по предоставлению гарантии того, что первая услуга будет предоставлена.

Иными словами, кроме получения услуги выраженной в транспортной работе непосредственно поставщиком транспортной услуги (владельцем транспортного средства, на котором осуществляется перевозка), потребителям услуги важно иметь гарантии того, что такая услуга будет оказана, транспортное средство прибудет на остановку и прибудет по расписанию. Подробнее определим понятия поставщиков, потребителей и некоторые иные особенности двойственности рассматриваемой услуги.

Потребителями первой услуги являются пассажиры ГПТОП, участвующие в процессе перевозки и удовлетворяющие при этом свои транспортные потребности.

Потребителями второй услуги являются все жители города (территории), где это транспортное обслуживание организуется. Именно все жители, а не только пассажиры ГПТОП хотят иметь гарантии того, что могут в будущем стать пассажирами.

Поставщики услуг. Первую услугу предоставляет перевозчик. Вторую услугу предоставляет организатор перевозок. Согласно [1] – это муниципалитет.

Оплата услуг. Оплата услуг основывается на справедливом принципе – кто получает услугу, тот за нее и платит. За оказанную первую услугу платит пассажир. За вторую услугу платят все жители, осуществляя свои налоговые платежи в бюджет.

Ответственность за оказание услуги. Как и за предоставление любой другой услуги, за ее качество отвечает тот, кто эту услугу предоставляет. За предоставление первой услуги отвечает перевозчик. За предоставление второй услуги отвечает муниципалитет – орган администрации муниципального образования, уполномоченный в области содержания и строительства автомобильных дорог, организации транспортного обслуживания населения.

Концепция развития общественного транспорта и ее уровни

Задача формирования, управления и развития системы ГПТОП многогранная и многоуровневая. Весь комплекс решений, технологий и подходов к ее решению можно разделить на три уровня [2].

Первый уровень – это управленческий уровень. В него входят задачи построения системы управления пассажирским транспортом общего пользования в соответствии с той структурой предоставления услуг по транспортному обслуживанию на-

селения, которая была описана выше. Необходимо определить полномочия отдельных управленческих структур в этой сфере, определить зоны ответственности и критерии оценки качества тех или иных управленческих решений.

Второй уровень – это нормативно-правовой уровень, который подразумевает создание нормативно-правовой основы для функционирования такой сложной и многогранной, включающей в себя множество объектов и субъектов права системы ГПТОП. Эта система включает как определенные федеральным и региональным законом нормы федерального и регионального права в виде федеральных и региональных законов, так и различные решения, правила и нормативы, определенные на местном уровне и закреплённые решениями представительных органов муниципальной власти.

Третий, организационно-технический уровень, который представляет самый большой комплекс мероприятий, решений, направленных на эффективное функционирование системы ГПТОП с точки зрения его основных и видимых потребителю критериев, таких как безопасность, время, цена и тому подобное. Постановка и определение способов решения задач организационно-технического уровня само по себе является отдельной инженерной задачей, решение которой наукоемко и находится на стыке знаний из разных областей науки и техники.

Управленческий уровень решения задачи формирования эффективной системы общественного транспорта определяется типом и территорией, на которых функционирует объект управления. В частности, это могут быть регулярные муниципальные перевозки, межмуниципальные перевозки, а также межсубъектные перевозки. Соответственно, в каждом субъекте Российской Федерации, отдельном муниципальном образовании может быть сформирована своя уникальная система управления развитием как дорожно-транспортного комплекса, так и системой перевозок пассажирским транспортом общего пользования. Исследование и построение наиболее эффективной системы управления относятся к сфере знаний в области государственного и муниципального управления, подробно изученной в специальной литературе. В частности, некоторые примеры построения эффективных управленческих систем изложены в [2–4].

Второй уровень на сегодняшний день представлен довольно сбалансированно и законченно в системе федеральных законов и нормативных актов, регулирующих сферу перевозок пассажирским транспортом общего пользования. В частности, область взаимоотношений между различными субъектами, вовлекаемых в процесс перевозки пассажирами, перевозчиками, а также организатором или

заказчиком перевозки, образует сферу взаимоотношений под названием регулярные перевозки.

Такое понятие определено в Федеральном законе от 08.11.2007 № 259-ФЗ «Устав автомобильного транспорта и городского наземного электрического транспорта» [5]. В развитие положений Устава принят Федеральный закон от 13.07.2015 № 220-ФЗ «Об организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [6]. Эти законы являются основополагающими инструментами, формирующими на федеральном уровне необходимую законодательную и нормативную базу для организации регулярных перевозок на пассажирском транспорте общего пользования как на муниципальном уровне, так на региональном и федеральном уровнях. В развитии Федерального закона от 13.07.2015 № 220-ФЗ [6] на местах требуется разработка ряда обязательных документов, определяющих как порядок планирования регулярных перевозок, так и изменение этого порядка с течением времени. В частности, на региональном и муниципальном уровнях работают три документа:

- порядок подготовки документа планирования регулярных перевозок;
- документ планирования регулярных перевозок;
- порядок установления, изменения и отмены маршрутов регулярных перевозок.

В данный момент большинство субъектов Российской Федерации и органов местного самоуправления подготовили необходимый перечень правоустанавливающих документов и нормативных актов.

Документы регионального и муниципального уровня определяют основы взаимоотношений и типов перевозок на каждой конкретной территории, при этом решают три вида задач: установление маршрута, выбор вида перевозок и выбор перевозчика на маршруте (рисунок 1).

В соответствии с Федеральным Законом от 13.07.2015 № 220-ФЗ [6] перевозки могут делиться на перевозки, осуществляемые по регулируемым тарифам, и перевозки, осуществляемые по нерегулируемым тарифам. В свою очередь, выбор перевозчика в каждом случае основывается на применении либо Федерального закона «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд» от 05.04.2013 № 44-ФЗ [7], либо выдаче свидетельства на право осуществления перевозок на маршрутах регулярных перевозок по результатам открытого муниципального либо регионального конкурса (рисунок 2).



Рисунок 1. Правовое регулирование взаимоотношений между субъектами перевозочной деятельности

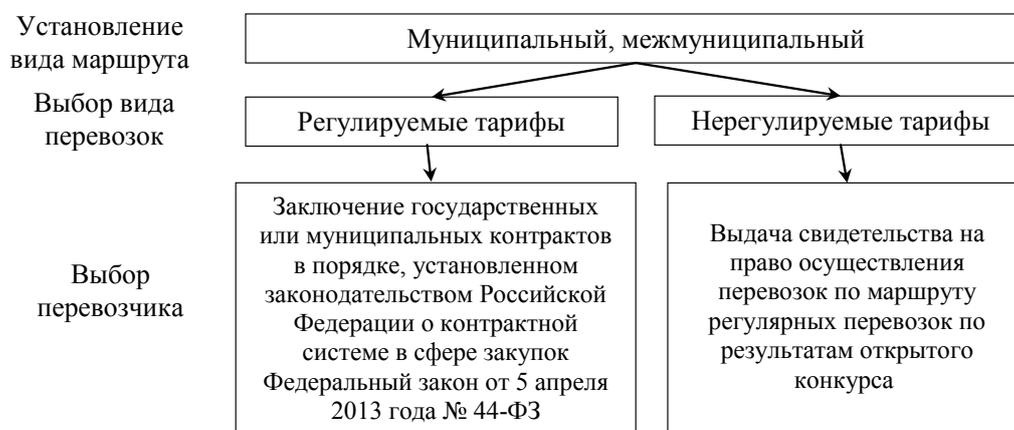


Рисунок 2. Этапы планирования регулярных перевозок

При этом, учитывая двойственность услуги по обеспечению транспортного обслуживания населения пассажирским транспортом общего пользования, требования к качеству транспортного обслуживания населения предъявляются как к первой услуге в виде требования к перевозчику, так и на этапе требования ко второй услуге по предоставлению гарантий перевозок в виде требования к заказчику перевозок или организатору перевозок в лице органа местного самоуправления. Требования как к перевозчику, так и к организатору перевозок мож-

но разбить на три составляющих:

- требования к средствам транспортировки;
- требования к процессу перевозки;
- требования к параметрам маршрутной сети.

Параметры маршрутной сети определяют объем необходимой транспортной работы для удовлетворения транспортных потребностей населения, параметры расписания движения каждого отдельного транспорта по каждому отдельному маршруту и параметры самой сети (конфигурации маршрутной сети и дизайн каждого маршрута) (рисунок 3).



Рисунок 3. Структура параметров качества организации транспортного обслуживания населения

Требования к средствам транспортировки заключаются в требованиях к характеристикам подвижного состава, использующегося на тех или иных маршрутах. В частности его экзистенциальным характеристикам, таким как комфорт и безопасность, а также к функциональным характеристикам, таким как пассажироместимость, скорость и иным технологическим параметрам самого транспортного средства.

Как видно из рисунка 8, основные требования к системе ГПТОП определяются как раз через параметры маршрутной сети. Разработка маршрутной сети является главной задачей третьего организационно-технического уровня планирования работы системы ГПТОП. В общем случае в параметры маршрутной сети входят как расписание движения, так и объем транспортной работы, количество маршрутов, их функционирование в пространстве и времени [8].

Принципы и этапы планирования маршрутной сети

Планирование общественного транспорта охватывает очень широкую область научных и эмпирических исследований. От проектирования сетей до составления графиков работы экипажей водителей и обслуживающего персонала, от оценки спроса до назначения рейса общественного транспорта, от методов математического программирования до эволюционных эвристических и метоевристических подходов к решению [9–11]. К процессу создания системы общественного транспорта подходили разные исследователи и подходили с разных сторон. Далее мы постараемся более подробно формализовать и структурировать основные блоки

ставящихся и решаемых задач при формировании эффективной системы ГПТОП на этапе создания маршрутной сети.

В обязанности организаторов перевозок общественным транспортом входит обеспечение адекватной настройки системы таким образом, чтобы найти компромисс между интересами различных субъектов, участвующих в процессе оказания услуг, и именно здесь в игру вступают различные методы оптимизации.

Кроме предоставления быстрого, дешевого и прямого способа перемещения, критериями качества системы общественного транспорта могут быть комфортность, регулярность, уровень обслуживания и уровень частоты движения транспортных средств и размещения транспортных терминалов. С точки зрения перевозчика, цель состоит в том, чтобы система приносила как можно больше прибыли. Основная задача при планировании маршрутной сети – найти равновесие между этими конфликтующими целями.

Эти блоки решаемых задач, а также общий процесс проектирования были в значительной степени основаны на практических рекомендациях, экспертном заключении инженеров транспортников и опыте перевозчиков [12].

Общее планирование и проектирование маршрутной сети являются довольно сложной и многогранной задачей, которую с трудом удастся разбить на несколько подзадач, которые можно рассматривать сравнительно отдельно. Тем не менее, каждая из них так же сложна. Первое научное исследование в этой сфере датировано 1925 годом, и с тех пор постоянно совершенствуется и развивается. Механизм глобального проектирования кон-

фигурации маршрутной сети основан на нескольких фундаментальных исходных данных – это спрос на транспортные перемещения, связанные с районами и их топологическими характеристиками, а также набором необходимой инфраструктуры как ее подвижной, так и неподвижной части, в виде различных систем транспорта. Конечная цель состоит в том, чтобы получить не только набор маршрутов и связанных расписаний, но и в конечном итоге назначить время работы каждой единицы подвижного состава с учетом особенностей спроса, графика работы и ограничений, накладываемых системой транспортной и производственной безопасности, контроля труда и отдыха водителя. Процесс такого проектирования можно разбить на пять последовательных этапов: (1) планирование маршрутов, (2) настройка интервалов движения, (3) распределение времени работы на маршруте, (4) планирование работы транспортного средства и (5) составление расписания и режимов работы персонала.

В общем случае все пять этапов должны обрабатываться в процессе проектирования одновременно, так как существует очевидная связь, например, между объемами перевозок на конкретном маршруте как с конфигурацией, так и с частотой маршрута и с типом подвижного состава. Из-за исключительной сложности и высокой размерности задачи, глобальный подход параллельного учета всех особенностей проектирования представляется неразрешимым на практике. В результате он разбивается на несколько отдельных подзадач, в каждой из которых решается своя оптимизационная задача, при этом теряется какая-либо гарантия конечной оптимальности.

Первая, начальная и главная задача – это проектирование (дизайн) маршрутной сети. Целью является определение набора маршрутов в конкретной области моделирования. При этом каждый маршрут определяется последовательностью остановок. Исходными данными для такого проектирования является топология транспортных районов и матрица транспортных корреспонденций между всеми районами. Матрица транспортных корреспонденций имеет набор точек остановок, строки соответствуют источникам корреспонденций, столбцы – адресам конечных корреспонденций. Элемент матрицы корреспонденций содержит количество пассажиров, перемещающихся из одного транспортного района в другой транспортный район за какой-то момент времени. Надо понимать, что уже на этом этапе существует потеря точности, так как координаты элементов матрицы должны соответствовать точным пожеланиям каждого конкретного пассажира. Однако, это практически недостижимо, поэтому целесообразно спрос на транспортные передвижения в матрице корреспонденций привязывать к предполагаемым

местам остановок общественного транспорта. Вторым моментом, который нужно учитывать на этом этапе, это то, что спрос на транспортные передвижения на общественном транспорте должен учитывать не только существующий объем пассажиров, реализующих свои транспортные потребности на общественном транспорте в данный момент времени, но также и всех потенциальных внешних пользователей системы ГПТОП.

На этапе проектирования уже можно сформулировать несколько ограничений. Первое ограничение связано с зоной охвата территории отдельным маршрутом или отдельной остановкой транспорта общего пользования. Насколько широкий ареал потенциальных пользователей может хватить один маршрут или одна остановка? В существующей практике считается приемлемым, если радиус охвата такого охвата будет составлять 400-500 метров от каждой остановки общественного транспорта, в которую вовлечены 90% потенциальных пользователей ГПТОП [13, 14]. Второе из ограничений – это ограничение на непрерывность поездки для реализации одной корреспонденции и соответствия конкретного маршрута прямой цели поездки. В ограничении формализуются определенные отношения к количеству пересадок, а также к прямолинейности каждого маршрута. Каждый пассажир стремится выбрать тот маршрут, который реализует его транспортные потребности без пересадок, а также будет максимально прямолинейным, а, следовательно, реализовывать эти перемещения с минимальным временем. Отдельные маршруты не должны быть слишком короткими или слишком длинными. Это, в свою очередь, затруднит обслуживание таких маршрутов и усложнит внутреннюю логистику работы автотранспортного предприятия, обслуживающего маршрут. Ограничением, с другой стороны, является необходимость полного удовлетворения транспортного спроса. Это самый ключевой вопрос и самое ключевое ограничение. Чаще всего маршрутная сеть не проектируется впервые в каком-то новом виртуальном городе. Работа строится уже на действующей маршрутной сети в городе, где сложился определённый набор транспортных корреспонденций, которые необходимо удовлетворить. Кроме того, часто ставится задача увеличения объемов реализации транспортных корреспонденций на пассажирском транспорте общего пользования для целей повышения общей эффективности функционирования дорожно-транспортного комплекса в целом.

Второй блок задач – это настройка частоты движения транспортных средств в маршрутной сети. У этого шага также можно сформулировать свою оптимальную цель и рассчитать частоты движения подвижного состава каждого маршрута в сети для

каждого периода времени. Исходными данными на этом этапе является маршрутная сеть, сформированная на предыдущем этапе, а также объём существующего транспортного спроса в виде набора матриц корреспонденций. Другими входными данными является существующий парк транспортных средств, который может обслужить тот или иной маршрут. Основные ограничения на этом этапе связаны с анализом удовлетворения транспортного спроса интервалами движения с целью избегания переполнения или больших перегрузок подвижного состава и, как следствие, сокращения времени ожидания и времени перевозки. При этом количество отправок (количество рейсов) на каждом маршруте с точки зрения перевозчика желательно свести к минимуму по причинам, связанным с экологией ресурсов предприятия.

Третий шаг проектирования маршрутной сети – это разработка графиков работы на маршрутной сети. Цель этого шага – формирование расписания движения на каждом маршруте, выраженное во времени отправления от всех остановок, обслуживаемых каждой линией сети. Этот шаг определённым образом детализирует предыдущий шаг. Однако на этом этапе появляются дополнительные ограничения в виде не только удовлетворения транспортного спроса, но и координации перевозок на пересекающихся маршрутах для обеспечения трансфера пассажира между различными маршрутами.

Четвёртый и пятый шаг – это построение расписания движения для каждого транспортного средства, цель которого получить последовательность рейсов маршрутов, определяя при этом количество единиц подвижного состава, требуемого для рассматриваемого периода, а также составление графика работы экипажа на каждой единице подвижного состава с учётом требований безопасности их работы, распределения времени труда и отдыха, количества рабочего времени в часах и днях, в течение суток и рабочей недели [15].

Каждая из этих задач является оптимизационной задачей, при этом не всегда выпуклой и не всегда линейной. Постановка и решение таких задач не всегда возможны в рамках одной области математики – математического программирования. Вместе с тем, их решение возможно, и эти решения доволь-

но широко известны и активно используются в проектной работе транспортных инженеров по всему миру. Можно отметить, что технологии решения таких задач к сегодняшнему дню прошли долгий путь от традиционных аналитических методов с элементами математического программирования, до эвристических и метаэвристических алгоритмов, основанных на генетических принципах наследственности и муравьиных алгоритмах коллективного поведения. Именно в задачах построения оптимальной сети маршрутов городской агломерации нашли применение специальная эвристика, основанная на «жадном принципе» построения, поиск по соседству, такие как «имитация отжига» и «поиск по Табу» [11, 16–19].

Заключение

Сложность организации работы общественного транспорта определяется, в первую очередь, причинами, лежащими далеко за технической областью. Эти причины кроются в потребительском отношении пассажиров к общественному транспорту и сложностью формализации состава услуги. Качество работы системы пассажирского транспорта общего пользования определяется не столько финансовыми ресурсами, задействованными обществом в его развитии, сколько качественно и прозрачно выстроенной системой управления отраслью, качественно подготовленной нормативной и законодательной базой, ее регулирующей. Требования к совершенствованию качества обслуживания пассажиров относятся не столько к субъектам предпринимательства в этой сфере, сколько к организатору перевозок (органу администрации муниципального образования, либо субъекта Федерации), главное из которых – это требование к качеству маршрутной сети. Формирование эффективной сети маршрутов общественного транспорта является задачей большой размерности, не имеющей единых подходов к ее решению. Несмотря на существенный прорыв в развитии и применении вычислительных методов решения оптимизационных задач математического программирования в области построения оптимальных маршрутных сетей, все чаще применяются эвристические, полуэвристические и метаэвристические алгоритмы.

Литература

1. Федеральный закон от 06.10.2003 № 131-ФЗ «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_44571/ (дата обращения: 05.11.2019).
2. Якимов М. Р. Концепция транспортного планирования и организации движения в крупных городах: монография. – Пермь: Изд-во Перм. гос. тех. ун-та. – 2011. – 175 с.
3. Якимов М. Р., Трофименко Ю. В. Транспортное планирование: формирование эффективных транспортных систем крупных городов. – М.: Логос. – 2013. – 447 с.
4. Yakimov M. Optimal Models used to Provide Urban Transport Systems Efficiency and Safety // Transportation Research Procedia. – Vol. 20: 12th International Conference Organization and Traffic Safety

Management in large cities, SPbOTSIC-2016, 28-30 September 2016, St. Petersburg, Russia. – 2017. – P. 702-708.

5. Федеральный закон «Устав автомобильного транспорта и городского наземного электрического транспорта» от 08.11.2007 № 259-ФЗ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_72388/ (дата обращения: 05.11.2019).

6. Федеральный закон «Об организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 13.07.2015 № 220-ФЗ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_182659/ (дата обращения: 05.11.2019).

7. Федеральный закон «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд» от 05.04.2013 № 44-ФЗ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_144624/ (дата обращения: 05.11.2019).

8. Якимов М. Р. Расчет ограничений при открытии маршрутов городского пассажирского транспорта общего пользования: методические рекомендации. – Москва: Институт транспортного планирования общественной организации Российской академии транспорта. – 2016. – 36 с.

9. Desaulniers G., Hickman M. Public transit // Handbooks in Operation Research and Management Science. – 2017. – P. 69-120.

10. Fan W., Machemehl R. Optimal transit route network design problem: algorithms, implementations, and numerical results // Tech. Rep. SWUTC/04/ 167244-1, Center for Transportation Research, University of Texas. – 2004.

11. Zhao F., Gan A. Optimization of transit network to minimize transfers // Tech. Rep. BD015-02, Florida Department of Transportation, Center for Transportation Research, Florida International University. – 2003.

12. Baaj M.H., Mahmassani H.S. Hybrid route generation heuristic algorithm for the design of transit networks // Transportation Research Part. – 1995. – P. 31-50.

13. Murray A.T. A coverage model for improving public transit system accessibility and expanding access // Annals of Operations Research. – 2003. – P. 123,143-156.

14. Benn H.P. Bus route evaluation standards // Tech. Rep., Transportation Research Board, Washington. – 1995.

15. Bunte S., Klierer N., Suhl, L. An overview on vehicle scheduling models in public transport // In: Proceedings of the 10th International Conference on Computer-Aided Scheduling of Public Transport, Leeds, UK. Springer-Verlag. – 2006.

16. Borndörfer R., Grötschel M., Pfetsch M.E. A path-based model for line planning in public transport // Tech. Rep. Report 05-18, ZIB. – 2005.

17. Guan J.F., Yang H., Wirasinghe S.C. Simultaneous optimization of transit line configuration and passenger line assignment // Transportation Research Part B 40 (10). – 2003. – P. 885-902.

18. Zhao F., Ubaka I. Transit network optimization - minimizing transfers and optimizing route directness // Journal of Public Transportation 7(1). – 2004. – P. 67-82.

19. Zhao F., Zeng X. Simulated annealing-genetic algorithm for transit network optimization // Journal of Computing in Civil Engineering 20 (1). – 2006. – P. 57-68.

References

1. Federal Law of 06.10.2003 No. 131-FL «On General Principles of the Organization of Local Self-Government in the Russian Federation». Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_44571/ (accessed 05.11.2019) (In Russ.).

2. Yakimov, M.R. (2011) *Kontseptsiya transportnogo planirovaniya i organizatsii dvizheniya v krupnykh gorodakh: monografiya* [The concept of transport planning and traffic management in large cities: a monograph]. Perm: Publishing house Perm. state univ., 175 p.

3. Yakimov, M.R., Trofimenko, Yu.V. (2013) *Transportnoye planirovaniye: formirovaniye effektivnykh transportnykh sistem krupnykh gorodov* [Transport planning: the formation of effective transport systems in large cities]. Moscow: Logos, 447 p.

4. Yakimov, M. (2017) [Optimal Models used to Provide Urban Transport Systems Efficiency and Safety]. *Transportation Research Procedia* [Transportation Research Procedia]. Vol. 20, 12th International Conference Organization and Traffic Safety Management in large cities, SPbOTSIC-2016, 28-30 September 2016, St. Petersburg, Russia, pp. 702-708. (In Russ.).

5. Federal law «Charter of road transport and urban land electric transport» dated 08.11.2007 No. 259-FL. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_72388/ (accessed 05.11.2019) (In Russ.).

6. Federal Law «On the Organization of Regular Transportation of Passengers and Baggage by Road Trans-

port and Urban Surface Electric Transport in the Russian Federation and on Amending Certain Legislative Acts of the Russian Federation» dated July 13, 2015 No. 220-FL. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_182659/ (accessed 05.11.2019) (In Russ.).

7. Federal law «On the contract system in the field of procurement of goods, works, services to ensure state and municipal needs» dated 04.04.2013 No. 44-FL. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_144624/ (accessed 05.11.2019) (In Russ.).

8. Yakimov, M.R. (2016) *Raschet ogranicheniy pri otkrytii marshrutov gorodskogo passazhirskogo transporta obshchego pol'zovaniya: metodicheskiye rekomendatsii* [Calculation of restrictions when opening routes of public passenger public transport: guidelines]. Moscow: Institute of Transport Planning of the All-Russian Public Organization Russian Academy of Transport, 36 p.

9. Desaulniers, G., Hickman, M. (2017) Public transit. *Handbooks in Operation Research and Management Science*, pp. 69-120.

10. Fan, W., Machemehl, R. (2004) Optimal transit route network design problem: algorithms, implementations, and numerical results Tech. Rep. SWUTC / 04 / 167244-1, *Center for Transportation Research, University of Texas*.

11. Zhao, F., Gan, A. (2003) Optimization of transit network to minimize transfers. Tech. Rep. BD015-02, Florida Department of Transportation, Center for Transportation Research, *Florida International University*.

12. Baaj, M.H., Mahmassani, H.S. (1995) Hybrid route generation heuristic algorithm for the design of transit networks. *Transportation Research Part*, pp. 31-50 (In Engl.).

13. Murray, A.T. (2003) A coverage model for improving public transit system accessibility and expanding access. *Annals of Operations Research*, pp. 123,143-156. (In Engl.).

14. Benn, H.P. (1995) Bus route evaluation standards. Tech. Rep., Transportation Research Board, *Washington*.

15. Bunte, S., Kliever, N., Suhl, L. (2006) An overview on vehicle scheduling models in public transport. *Proceedings of the 10th International Conference on Computer-Aided Scheduling of Public Transport*, Leeds, UK. Springer-Verlag. (In Engl.).

16. Borndörfer R., Grötschel, M., Pfetsch, M.E. (2005) A path-based model for line planning in public transport. Tech. Rep. Report 05-18, ZIB.

17. Guan, J.F., Yang, H., Wirasinghe, S.C. (2003) Simultaneous optimization of transit line configuration and passenger line assignment. *Transportation Research Part B* 40 (10), pp. 885-902. (In Engl.)

18. Zhao, F., Ubaka, I. (2004) Transit network optimization – minimizing transfers and optimizing route directness. *Journal of Public Transportation* 7 (1), pp. 67-82. (In Engl.).

19. Zhao, F., Zeng, X. (2006) Simulated annealing-genetic algorithm for transit network optimization. *Journal of Computing in Civil Engineering* 20 (1), pp. 57-68. (In Engl.).

Информация об авторе:

Михаил Ростиславович Якимов, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры организации и безопасности движения, директор Института транспортного планирования Общероссийской общественной организации «Российская академия транспорта», Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия

Scopus Author ID: 57193747033, **ORCID ID:** 0000-0002-7627-4791, **Researcher ID:** C-3333-2014
e-mail: yakimov@rosacademtrans.ru

Статья поступила в редакцию 11.11.2019; принята в печать 29.11.2019.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Information about the author:

Mikhail Rostislavovich Yakimov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Organization and Traffic Safety, Director of the Institute of Transport Planning of the All-Russian Public Organization «Russian Academy of Transport», Moscow Automobile and Highway Technical University (MADI), Moscow, Russia

Scopus Author ID: 57193747033, **ORCID ID:** 0000-0002-7627-4791, **Researcher ID:** C-3333-2014
e-mail: yakimov@rosacademtrans.ru

The paper was submitted: 11.11.2019.

Accepted for publication: 29.11.2019.

The author has read and approved the final manuscript.