



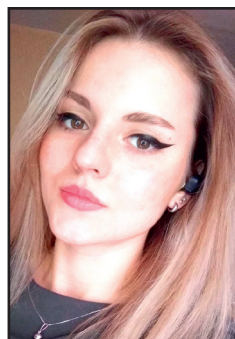
## Вопросы проектирования и реформирования маршрутных сетей городского наземного пассажирского транспорта общего пользования



Филипп АКОПОВ



Анастасия ХОРОШИЛОВА



Юлия ФАДДЕЙКИНА

*Акопов Филипп Витальевич* — Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия.

*Хорошилова Анастасия Дмитриевна* — Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия.

*Фаддейкина Юлия Сергеевна* — Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия\*.

Городской пассажирский транспорт общего пользования, являясь важнейшим элементом социальной инфраструктуры мегаполисов, оказывает прямое воздействие на качество жизни населения, раскрытие градостроительного и социально-экономического потенциала. Эффективность работы городского транспорта напрямую зависит от правильного выбора и проектирования его маршрутов.

Целью данного исследования было на базе обзора существующих методов проектирования маршрутных сетей городского пассажирского транспорта общего пользования разработать усовершенствованную методику, позволяющую реформировать действующие маршрутные сети.

Проведён анализ методов проектирования маршрутных сетей, определены их достоинства и недостатки. Предложена усовершенствованная методика проектирования маршрутных сетей, направленная на возможность решения задач реформирования действующих маршрутных сетей и практическую реализацию полученных результатов с учётом имеющихся ограничений.

**Ключевые слова:** пассажирские перевозки, городской пассажирский транспорт, маршрутная сеть, реформирование.

В основу методики проектирования маршрутных сетей городских районов и малых городов положена модель улично-дорожной сети, представленная в виде детализированного графа с последующим рассмотрением массивов связей всех вершин графа с несколькими пунктами тяготения. Для построения графа используется геоинформационная система QGIS, что позволяет анализировать, визуализировать и обеспечивать лёгкую и удобную работу с детализированным графом транспортной сети городского района.

Определение рациональных путей проезда между пунктами отправления и тяготения проводится методом направленного отбора вариантов по критерию минимума затрат времени на движение. Формирование маршрутов осуществляется по принципу включения в маршрут наибольшего количества пунктов (вершин графа).

Применение методики позволит учитывать изменение спроса населения на транспортные услуги, вносить коррективы в действующую маршрутную сеть, тем самым удовлетворяя потребность населения в перевозках и повышая эффективность работы городских транспортных сетей и автотранспортных предприятий.

\*Информация об авторах:

**Акопов Филипп Витальевич** — старший преподаватель кафедры автомобильных перевозок Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), Москва, Россия, [ap912@yandex.ru](mailto:ap912@yandex.ru).

**Хорошилова Анастасия Дмитриевна** — магистрант кафедры автомобильных перевозок МАДИ, Москва, Россия, [anastasiamadi@yandex.ru](mailto:anastasiamadi@yandex.ru).

**Фаддейкина Юлия Сергеевна** — магистрант кафедры автомобильных перевозок МАДИ, Москва, Россия, [juli4@bk.ru](mailto:juli4@bk.ru).

Статья поступила в редакцию 21.04.2019, принята к публикации 23.07.2019.

For the English text of the article please see p. 261.

## ВВЕДЕНИЕ

Городской пассажирский транспорт общего пользования (ТОП) является важнейшим элементом социальной инфраструктуры, влияющим на качество жизни населения, эффективность работы отраслей экономики города, возможность максимального использования её градостроительного и социально-экономического потенциала [1–5]. Анализ исследований в области пассажирских автомобильных перевозок, включая труды кафедры «Автомобильные перевозки» МАДИ [1; 2; 4; 5], позволяет сделать вывод, что городской пассажирский транспорт общего пользования должен обеспечивать максимальную транспортную доступность для жителей всей территории города с учётом её перспективного развития. А это, в свою очередь, предопределяет необходимость проектирования новых и реформирования действующих маршрутных сетей городского пассажирского транспорта [6; 7].

Необходимость реформирования маршрутной сети обусловлена следующими факторами:

1. Неравномерность пассажиропотоков на линиях маршрутной сети.
2. Территориальное увеличение городских районов.
3. Организация новых пунктов тяготения (строительство станций внеуличного транспорта, открытие новых торгово-развлекательных центров и др.).
4. Изменения в городской инфраструктуре (строительство новых дорог, мостов и т.д.).

### **Анализ методов проектирования и реформирования маршрутных сетей городского наземного пассажирского транспорта**

Международный опыт проектирования маршрутных сетей разнообразен и касается различных аспектов: планирования мультимодальных систем ТОП отдельных городов, автобусных и внутригородских железнодорожных маршрутов, влияния аспектов доступности, перемещения работающих жителей к месту работы и обратно на развитие городской транспортной сети, преимуществ и недостатков полицентрических схем и многих других вопросов.

Так, анализ зарубежных исследований в рассматриваемой области показывает необходимость:

1) интеграции систем городского пассажирского транспорта: обеспечение взаимодействия различных видов транспорта, элементов маршрутных сетей и инфраструктуры, градостроительства, окружающей среды и социальной политики [8–10];

2) комплексного подхода при проектировании и функционировании транспортных систем, заключающегося в обеспечении совместимости и координации систем различных видов транспорта, а также технических, технологических, организационных, экономических, экологических, правовых, информационных подсистем [11–13].

В исследованиях отмечено влияние оценки спроса на транспортные услуги и прогнозирования корреспонденций населения на параметры работы транспортных систем и маршрутных сетей. Приведена роль анкетирования различных социальных групп населения при определении спроса на транспортные услуги. Определены факторы, влияющие на пользование общественным пассажирским транспортом [14].

Рассмотрены вопросы реформирования действующих маршрутных сетей в части отмены, расширения, изменения маршрутов, проектирования инфраструктуры, корректировки расположения остановочных пунктов, ликвидации необоснованного дублирования маршрутов, проектирования совместных трамвайно-автобусных сетей, создания мультимодальных транспортных систем, внедрение новых видов транспорта и оценка их влияния на работу транспортной системы, исследование зависимости спроса на транспортные услуги от количества пересадок и времени на пересадки. Предложено моделирование транспортной системы с использованием инструмента макромониторинга Visum [10].

При проектировании сетей рекомендован учёт таких факторов, как надёжность, устойчивость, мощность, ограничения на пропускную способность и нагрузку сети, экономические ограничения. Рассмотрены различные методы и модели сетевого проектирования [15].

Отмечен комбинаторный характер задач проектирования сетей, предполагающий рассмотрение большого количества вариантов. Выделены этапы проектирования маршрутных сетей: оценка спроса, дислокация остановочных пунктов, составление матри-



цы корреспонденций, выбор эффективных маршрутов. Рассмотрен принцип маршрутизации с ограничением времени на проезд априорно заданных остановок [16].

Предложен метод моделирования дискретных событий при решении задачи реформирования маршрутных сетей, позволяющий учитывать динамический характер автобусных маршрутов и вносить изменения в действующую маршрутную сеть [17].

Таким образом, международный опыт показывает, что решение задач проектирования и оптимизации маршрутных сетей может быть выполнено с помощью комплекса аналитических, математических, теоретико-вероятностных и программных методов.

Эта тема привлекала внимание и российских исследователей. Существует ряд работ, основные положения которых могут быть использованы при решении задач в области проектирования и реформирования маршрутных систем городского пассажирского транспорта. Сюда можно отнести работы Б. Л. Геронимуса и Д. Д. Джумаева [18], Г. А. Варелопуло [19], Э. А. Сафронова [20], М. В. Хрущёва [21]. Однако предлагаемые в данных исследованиях методы не в полной мере отражают современные реалии, не учитывают все необходимые ограничения и, следовательно, позволяют получать «грубые» варианты решения, представляющие сложность практической реализации.

Впервые комплексная задача проектирования маршрутной сети городского пассажирского транспорта была решена в 60-е годы специалистами НИИАТ [18]. Метод комбинаторного анализа являлся базисным, так как предусматривал принцип направленного отбора вариантов для поиска оптимального решения. Были предложены различные критерии оптимизации, в том числе суммарные затраты времени всех пассажиров сети на передвижения, включающие затраты времени на пешие переходы [21], ожидание и поездку в транспорте, пересадки между маршрутами. Основными недостатками методики является отсутствие ограничений, высокие затраты времени и трудоёмкость расчётов ввиду необходимости ручного расчёта большого количества вариантов.

Метод, предложенный в 90-е годы прошлого века главным инженером Службы движения Управления пассажирского транспорта Мосгорисполкома Г. А. Варелопуло

[19], заключается в том, что для транспортной сети, представленной в виде графа: совокупности вершин (центров микрорайонов) и рёбер (транспортных проездов), по которым можно организовать движение пассажирского транспорта, определялись рациональные по времени пути проезда (транспортные связи). Затем, на основе полученного массива связей, осуществлялось построение маршрутов с учётом включения в каждый маршрут максимально возможного количества вершин. При этом устанавливался ряд ограничений, позволяющих сократить количество рассматриваемых вариантов. Для расчётов была разработана специальная программа на ЭВМ. Недостатками данного метода являются сложность практической реализации вследствие получения большого числа маршрутов и недостаточное количество ограничений. Например, не учитываются ограничения на пропускную способность улично-дорожной сети и транспортных узлов. Кроме того, данная методика предполагает проектирование маршрутной сети с нуля, не предусматривая реформирование действующих маршрутных сетей.

М. В. Хрущёв [21] предложил разделение методов маршрутизации на две группы в зависимости от уровня решаемых задач, а именно методы общей маршрутизации (основной из них является поиск оптимального варианта схемы автобусных маршрутов) и методы локальной маршрутизации (корректировка отдельно взятых маршрутов). Автор был убеждён, что приемлемых результатов можно добиться только при комбинировании подходов на разных этапах формирования рациональной маршрутной схемы [1].

Преимущества данного подхода: использование различных методов решения задач маршрутизации в зависимости от поставленной цели; высокая точность полученных результатов и возможность оптимизации действующих маршрутов за счёт ориентации на данные о корреспонденциях населения; возможность выбора наилучшего варианта маршрутной схемы, исходя из критерия качества перевозок пассажиров; проверка целесообразности функционирования разработанной маршрутной схемы.

К недостаткам можно отнести: отсутствие значимых ограничений, позволяю-

щих уменьшить количество сравниваемых вариантов маршрутных сетей [1]; применение данных методов возможно при наличии устойчивых связей между районами города.

### **Совершенствование методов проектирования и реформирования городских маршрутных сетей**

Проектирование и реформирование маршрутных сетей должны осуществляться в строгом соответствии с положениями законодательной и нормативно-правовой базы, что необходимо учитывать при выборе критериев и ограничений в задаче, а также при анализе разработанного или оптимизированного варианта маршрутной сети. На территории московского региона необходимо руководствоваться следующими документами и актами:

1. СНиП. Часть II. Нормы строительного проектирования (1954 г.) — носит рекомендательный характер, потому что утратил юридическую силу.

2. «Градостроительный кодекс Российской Федерации» от 29.12.2004 г. № 190-ФЗ (ред. от 02.08.2019 г. с изм. и доп., вступ. в силу с 13.08.2019 г.).

3. СНиП 11-60-75 «Планировка и застройка городов, посёлков и сельских населённых пунктов».

4. СНиП 2.07.01-89 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений».

5. СП 42.13330.2016 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89.

6. Нормы и правила проектирования планировки и застройки Москвы МГСН 1.01-99.

7. Постановление Правительства Москвы от 23.12.2015 г. № 945-ПП «Об утверждении региональных нормативов градостроительного проектирования города Москвы в области транспорта, автомобильных дорог регионального или межмуниципального значения».

Анализ существующих методов проектирования маршрутных сетей определяет необходимость:

- разграничения методов в зависимости от размеров объекта исследования и поставленной цели;

- совершенствования методов с целью обеспечения возможности практической реализации результатов.

Необходимость совершенствования методик проектирования маршрутных сетей вызвана следующими факторами:

1) при выборе методики реформирования необходимо учитывать размеры территории городов или районов, наличие устойчивых пассажиропотоков к пунктам тяготения;

2) для решения задач реформирования маршрутных сетей необходимо изменение способа получения корреспонденций;

3) существующие методики проектирования маршрутных сетей позволяют получить теоретическую модель, которую сложно реализовать на практике;

4) для возможности практической реализации результатов реформирования необходимо введение дополнительных ограничений.

В случае проектирования маршрутных сетей средних и больших городов целесообразно использовать укрупнённый метод, основанный на составлении матрицы межрайонных корреспонденций и выборе маршрутов с учётом заданных критериев и ограничений. При этом каждый район города будет представлен единым адресом корреспонденции, являющимся условным «центром тяжести» этого района. Это позволит существенно сократить количество рассматриваемых вариантов и даст возможность последующей корректировки разработанных маршрутов.

При решении задач реформирования маршрутных сетей необходимо изменить способ получения корреспонденций. В данном случае прогноз корреспонденций будет осуществляться не по данным района-аналога или на основе расчёта транспортной подвижности населения, как это возможно при проектировании новых сетей, а по результатам обследования пассажиропотоков действующей маршрутной сети. При прогнозировании корреспонденций необходимо также учитывать пропускную способность и загрузку транспортно-пересадочных узлов, наличие новых пунктов тяготения (мест приложения труда, культурно-бытовых объектов и объектов массового посещения, станций внеуличного транспорта и т.д.).







**Рис. 1. Этапы проектирования и реформирования маршрутных сетей городских районов и малых городов.**



**Рис. 2. Исходные данные в задачах проектирования и реформирования маршрутных сетей.**

Для возможности практической реализации проектного варианта маршрутной сети требуется введение дополнительных ограничений, способствующих сокращению количества маршрутов, полученных на этапе проектирования и учитывающих допустимую провозную возможность маршрута, нагрузку на улично-дорожную сеть (УДС), требуемый уровень качества обслуживания пассажиров, степень неравномерности пассажиропотоков и эффективность использования подвижного состава [19; 22].

Однако, существующие методы проектирования и реформирования маршрутных сетей не в полной мере учитывают необходимые ограничения, что приводит к трудностям практической реализации полученных результатов.

При проектировании маршрутных сетей городских районов и малых городов за основу может быть взята модель улично-дорожной сети, представленная в виде детализированного графа с последующим рассмотрением массивов связей всех вершин графа с несколькими пунктами тяготения (рис. 3).

Для построения графа можно использовать геоинформационную систему QGIS —

удобный инструмент, который позволяет загружать карту города, выбирать масштаб, быстро и наглядно строить, редактировать вершины и отрезки (участки улично-дорожной сети) поверх загруженной карты, измерять протяжённость дорог, улиц, построенных графов в масштабе и многое другое. Благодаря этому можно анализировать, визуализировать и обеспечивать лёгкую и удобную работу с детализированным графом транспортной сети городского района.

Определение рациональных путей проезда между пунктами отправления и тяготения проводится методом направленного отбора вариантов по критерию минимума затрат времени на движение. Формирование маршрутов осуществляется по принципу включения в маршрут наибольшего количества пунктов (вершин графа) [19].

Корректировка полученных на начальных этапах маршрутов проводится, исходя из следующих условий:

1. Запрет организации маршрутов по отдельным участкам улично-дорожной сети. В соответствии с действующими на территории г. Москвы нормами [23; 24], ширину полосы движения для наземного массового пассажирского транспорта следует принимать равной 3,75 м. Ширину местных проездов при организации по ним движения массового пассажирского транспорта следует принимать: при одностороннем движении — 10,5 м; при двустороннем движении — 11,25 м.

2. Запрет организации конечных пунктов маршрутов при отсутствии технической возможности строительства отстойно-разворотной площадки (ОРП). Возможным решением является продление трассы маршрута в пункт с ОРП, либо организация оборота подвижных единиц путём кольцевого движения с сохранением направления вывоза основного пассажиропотока (рис. 4).

При продлении трассы маршрута возникает ситуация, когда одна и та же связь обслуживается более чем одним маршрутом с разным временем движения. Для распределения пассажиропотоков между этими маршрутами может быть принято условие, что количество пассажиров, отнесённое к маршруту, обратно пропорционально времени движения:

$$K_i = \frac{\sum t_m}{t_m}; P_{S_m} = P_s \cdot \frac{K_i}{\sum K_i},$$

где  $K_i$  — коэффициент распределения пассажиров по времени;

$t_m$  — время поездки пассажиров совместной связи при использовании  $m$ -го маршрута, мин.

3. Установление предельно допустимых значений максимального пассажиропотока на участках маршрута. Определяются исходя из максимально и минимально допустимой частоты (интервалов) движения, ограниченных пропускной способностью УДС и необходимым уровнем качества обслуживания пассажиров, а также максимального и минимального значения номинальной вместимости подвижного состава, которым располагает транспортное предприятие, обслуживающее маршрутную сеть:

$$Q_{jmax}^{min} = \frac{q_{jmin} \cdot 60}{I_{max}}; Q_{jmax}^{max} = \frac{q_{jmax} \cdot 60}{I_{min}},$$

где  $q_{jmin}$  и  $q_{jmax}$  — минимальная и максимальная номинальная вместимость подвижных единиц, чел.;

$I_{max}$ ,  $I_{min}$  — максимальное и минимальное допустимое значение интервала движения подвижных единиц в «пиковые» часы, мин.

В случае, если расчётное значение максимального пассажиропотока на маршруте превышает допустимый диапазон, возможны следующие решения:

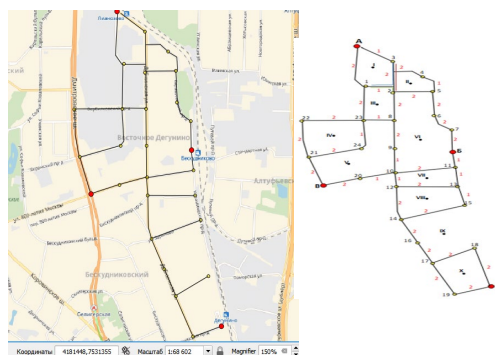
1) организация полуэкспрессного движения на маршруте (при наличии дублирующих маршрутов на данном направлении, имеющих запас провозной возможности) (рис. 5);

2) организация дополнительного укороченного маршрута на максимально загруженном участке (рис. 5).

В случае, если расчётное значение максимального пассажиропотока на маршруте ниже допустимого диапазона, возможны следующие решения:

1) исключение маршрута с распределением пассажиров между ближайшими соседними пунктами отправления (вершинами ГТС). В этом случае необходимо учитывать действующие региональные нормативы на длину пешеходных подходов.

Для города Москвы расстояния от останочных пунктов наземного транспорта



**Рис. 3. Пример детализированного графа транспортной сети городского района.**

не должны превышать: до мест проживания или мест приложения труда — 400 м; до торговых центров, универмагов, гостиниц, поликлиник — 150 м; до прочих объектов — 400 м [23, 24];

2) исключение маршрута и организация сообщения с пересадкой (при наличии альтернативных маршрутов, имеющих запас провозной возможности).

4. Объединение маршрутов, полученных на первоначальных этапах.

Проводится в следующих случаях:

1) трасса одного маршрута является продолжением трассы другого маршрута;

2) трассы маршрутов имеют высокую степень наложения;

3) трасса одного маршрута является составной частью другого (за исключением случаев организации дополнительного укороченного маршрута).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, предлагаемая усовершенствованная методика проектирования и реформирования маршрутных сетей малых городов и городских районов предусматривает:

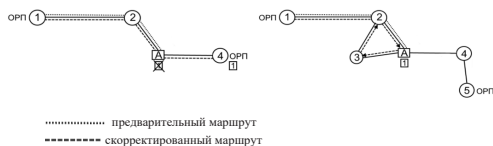
1. Разделение способов получения прогнозных значений корреспонденций для задач проектирования и реформирования.

2. Учёт требований к параметрам УДС при планировании маршрутов.

3. Учёт различных вариантов оборота подвижных единиц в конечных пунктах маршрутов.

4. Установление ограничений на величину максимального пассажиропотока с учётом возможностей транспортной системы и качества обслуживания пассажиров.





**Рис. 4. Варианты корректировки маршрута при отсутствии возможности организации ОРП.**

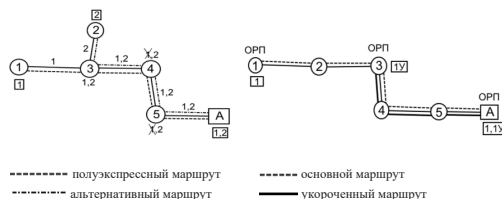
5. Учёт временного фактора при распределении пассажиров между альтернативными маршрутами.

6. Мероприятия по снижению расчётных значений пассажиропотоков.

7. Возможность сокращения количества рассматриваемых маршрутов путём их объединения и исключения с учётом соблюдения нормативов на транспортную доступность.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мартынова Ю. А. Анализ опыта проектирования рациональных маршрутных сетей городского пассажирского транспорта // Интернет-журнал «Науковедение». — 2017. — № 2 — С. 125.
2. Ефремов И. С., Кобозев В. М., Юдин В. А. Теория городских пассажирских перевозок. — М.: Высшая школа, 1980. — 535 с.
3. Блудян Н. О., Рошин А. И., Антонов М. Н. К вопросу минимальных социальных стандартов транспортного обслуживания населения. Депонированная рукопись № 754-B2009 30.11.2009 г.
4. Пистун Е. И., Блудян Н. О., Мороз Д. Г., Хейфиц П. И. Агломерационные проблемы организации эффективной транспортной системы // Автоматизация и управление в технических системах. — 2014. — № 2. — С. 3–13.
5. Спирин И. В. Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками. — 7 изд. — М.: Академия, 2012. — 400 с.
6. Блудян Н. О. К концепции развития транспортного обслуживания населения в Московском регионе // Автотранспортное предприятие. — 2009. — № 2. — С. 11–13.
7. Блудян Н. О., Мороз Д. Г., Хейфиц П. И. Территориально-транспортное прогнозирование и планирование в Московской агломерации // Автотранспортное предприятие. — 2014. — № 2. — С. 18–21.
8. Noor Ashikin Abd Rahman, Yusfida Ayu Abdullah. Theorizing the concept of urban public transportation institutional framework in Malaysia. MATEC Web of Conferences, 2016, Vol. 66, pp. 2–6.
9. Mrníková, M., Poliak, M., Šimurková, P., Hernandez, S., Reuter, N. How important is the integration of public passenger transport. Scientific Journal on Transport and Logistics, 2017, Vol. 2, pp. 59–68.
10. Solecka, K., Zak, J. Integration of the urban public transportation system with the application of traffic simulation. Transportation Research Procedia, 2014, Vol. 3, pp. 259–268.
11. Rajsman, M., Horvat, R., Rajsman, M. Public urban passenger transport as important factor in the



**Рис. 5. Варианты корректировки маршрута с организацией полужэкспрессного движения и дополнительного укороченного маршрута.**

development of cities. Journal of Traffic and Logistics Engineering, 2014, Vol. 3, pp. 172–175.

12. Motta, R., Silva, P., Santos, M. Crisis of public transport by bus in developing countries: A case study from Brazil. International Journal of Sustainable Development and Planning, 2013, Vol. 3, pp. 348–361.

13. Francesc, L. Integrating network design and frequency setting in public transportation networks. A survey. SORT (Statistics and Operations Research Transactions), 2014, Vol. 38, pp. 181–214.

14. Kumar, G., Kaur, A., Singh, K. K. Public Transport and urban mobility: Perception of people on services of public transport in Bathinda City, Punjab, India. International Research Journal of Social Sciences, 2014, Vol. 3, pp. 8–14.

15. Gendrona, B. Decomposition methods for network design. Procedia Social and Behavioral Sciences, 2011, Vol. 20, pp. 31–37.

16. Eiróia, T., Viegasa, J. M., Martíneza, L. M. A new optimisation procedure to design minibus services an application for the Lisbon Metropolitan Area. Procedia Social and Behavioral Sciences, 2011, Vol. 20, pp. 856–865.

17. Pereira, W. I., Chwif, L. Generic bus route simulation model and its application to a new bus network development for caieiras city, Brazil. Proceedings of the 2018 Winter Simulation Conference, 2018, pp. 122–134.

18. Геронимус Б. Л., Джумаев Д. Д. Математико-статистический метод выборочного обследования пассажиропотоков // Автомобильный транспорт. — 1966. — № 4. — С. 43–44.

19. Варелопуло Г. А. Организация движения и перевозок на городском транспорте. — М.: Транспорт, 1990. — 208 с.

20. Сафронов Э. А. Транспортные системы городов и регионов: Учеб. пособие. — М.: ACB, 2005. — 272 с.

21. Хрущёв М. В. Методы общей и локальной маршрутизации автобусного транспорта в городах: Монография. — М.: Государственный университет управления, 1999. — 168 с.

22. Спирин И. В., Беляев В. М., Антонова В. В. Методология планирования автомобильных пассажирских перевозок // Мир транспорта. — 2019. — № 1. — С. 20–37.

23. Постановление Правительства Москвы от 23.12.2015 г. № 945-ПП «Об утверждении региональных нормативов градостроительного проектирования города Москвы в области транспорта, автомобильных дорог регионального или межмуниципального значения».

24. Нормы и правила проектирования планировки и застройки Москвы МГСН 1.01-99. ●