УДК 656.022.42
DOI: https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-174-187

Развитие подхода к совершенствованию маршрутной схемы пассажирского транспорта крупного города

Андрей БУРЛУЦКИЙ **Павел ЕЛУГАЧЕВ**

Бурлуцкий Андрей Александрович *— Томский государственный архитектурно-строительный университет (ТГАСУ), Томск, Россия.*
Елугачев Павел Александрович *— Томский государственный архитектурно-строительный университет (ТГАСУ), Томск, Россия*.*

Несмотря на высокую значимость массового пассажирского транспорта для обеспечения перемещений городского населения, настоящий период характеризуется выраженным смещением приоритетов при реализации мероприятий по развитию транспортной системы крупного города в сторону индивидуального транспорта. Наряду с невозможностью поддержания высоких темпов строительства и реконструкции магистральной улично-дорожной сети, такая градостроительная позиция приводит к значительным перегрузкам практически всей транспортной инфраструктуры крупного города. По мнению большинства специалистов, одним из ключевых мероприятий, направленных на стабилизацию транспортной ситуации в городах, является реализация политики активного развития системы массового пассажирского транспорта. Среди вопросов организации работы пассажирского транспорта наибольший интерес представляет процедура трассирования маршрутов и последующего формирования из них рациональной маршрутной схемы, так как во многом от этого будут зависеть затраты времени пассажиров на передвижение по городу. Усовершенствование схемы движения пассажирского транспорта, рассматриваемое в увязке с развитием магистральной сети города, позволит достичь требуемого уровня удобства за счёт увеличения скорости транспортного потока.

В результате обзора российских и зарубежных работ, посвящённых исследованию транспортных систем городов, установлено, что известные методики формирования маршрутных схем пассажирского транспорта не в полной мере учитывают взаимодействие транспортных потоков с городскими магистралями. Зачастую специалисты недостаточное внимание уделяют критериям оптимизации, позволяющим проводить всесторонний анализ рациональности вариантов маршрутных схем. Анализ требований к трассированию автобусных маршрутов, выбору приоритетных направлений их развития и удобству движения позволил обобщить принципы проектирования маршрутных схем и назначить критерии их оптимизации.

Установлено, что скорость является наиболее значимым критерием оптимизации транспортных систем, учитывающим особенности организации движения транспортных потоков на улично-дорожной сети крупного города и её транспортно-эксплуатационное состояние. Основываясь на опыте маршрутизации, накопленном почти за столетний период, развит подход к обоснованному назначению мероприятий по реорганизации маршрутной схемы, который позволяет учесть факторы, определяющие техническое состояние дорожной сети и характеристики транспортных потоков. Её общая идея заключается в соединении отдельных звеньев транспортной сети и последовательном формировании набора конкурирующих вариантов маршрута, один из которых в дальнейшем войдёт в состав рациональной маршрутной схемы.

Ключевые слова: городской пассажирский транспорт, маршрут движения, маршрутная схема, улично-дорожная сеть, критерии оптимальности, затраты времени на поездку.

*Информация об авторах:
Бурлуцкий Андрей Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог Томского государственного архитектурно-строительного университета (ТГАСУ), Томск, Россия, abura124@yandex.ru.
Елугачев Павел Александрович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой инженерной геологии, мостов и сооружений на дорогах, проректор по научной работе Томского государственного архитектурно-строительного университета (ТГАСУ), Томск, Россия, nauka@tsuab.ru.

Статья поступила в редакцию 18.03.2020, принята к публикации 27.06.2020.

For the English text of the article please see p. 182.

Жизнедеятельность современного крупного города обеспечивается его инфраструктурой, в которой центральные позиции занимают уличнодорожная сеть и функционирующий на ней пассажирский транспорт. Следует выделить высокую социальную значимость городского пассажирского транспорта, которая проявляется в обеспечении свободы перемещения жителей города и в сокращении времени на поездки.

На сегодняшний день степень развития городской транспортной инфраструктуры не позволяет в полной мере обеспечить транспортные потребности населения. Прежде всего, это вызвано снижением темпов строительства, реконструкции и капитального ремонта транспортных коммуникаций. Наиболее остро транспортные проблемы выражены в крупных городах, планировочная схема которых складывалась длительное время под влиянием исторических факторов. В таких условиях недостаточное развитие дорожно-транспортной инфраструктуры приводит к тому, что затраты времени пассажиров на поездки значительно превышают предельно допустимые значения [1; 2]. При этом нарушается основное правило, сформулированное ранее французским архитектором Ле Корбюзье, согласно которому темпы модернизации транспортной инфраструктуры не должны отставать от темпов развития города в целом [3]. В свою очередь, строительство новых магистральных улиц и дорог потребует высвобождения городских территорий, а значит, обязательно будет сопровождаться сносом сложившейся застройки. Более гуманным решением обозначенной проблемы является рациональное использование подземного и надземного пространства, однако, это также потребует колоссальных капиталовложений. В настоящее же время можно наблюдать обратные, крайне негативные явления, такие как проявление активности в освоении свободной городской территории и, прежде всего, перспективных периферийных зон под массовое жилищное строительство и крупные торгово-развлекательные комплексы, что приводит не только к значительным перегрузкам отдельных транспортных магистралей, но и всей инженерной инфраструктуры крупного города.

Увеличение экономической активности населения, сопровождающееся ростом транспортной подвижности граждан, приводит к тому, что ежедневное использование автомобиля становится более привлекательным. В то же время легковой автомобиль характеризуется низкой провозной способностью и значительной занимаемой площадью проезжей части. Это свидетельствует о неэффективности применения такого вида пассажирского транспорта для осуществления трудовых передвижений, имеющих устойчивый и массовый характер в определённые периоды времени. При этом очевидно, что все перемещения горожан не могут быть реализованы исключительно общественным транспортом. Следует отметить, что легковые автомобили играют не менее высокую роль в организации процесса перевозок, т.к. могут обеспечить значительный объём культурно-бытовых и смешанных передвижений городского населения [4].

Значительный рост автомобилизации, характерный для городов западной Европы и США в послевоенный период, стал причиной появления серьёзных кризисных явлений, сопровождающихся транспортными заторами, снижением скоростей движения автомобилей и, наконец, ростом дорожно-транспортных происшествий. Уже тогда специалистам стало очевидно, что магистрали городов, заложенные до массового появления автомобилей, не соответствуют параметрам транспортного движения. В дальнейшем многие специалисты признали ошибочность выбранного ранее курса и необходимость реализации политики, предполагающей развитие системы массового пассажирского транспорта [5–10]. В то же время зарубежные исследователи отмечают [5; 7; 9; 10], что одно лишь повышение привлекательности массового транспорта само по себе не позволяет достичь желаемого уровня снижения интенсивности городских транспортных потоков. К тому же отвлечению внимания горожан от массового пассажирского транспорта и развитию привычки пользования именно личным транспортом в значительной степени способствует давление автомобильной промышленности.

По оценкам специалистов [11; 12] Россия отстаёт от развитых стран по уровню развития транспортной инфраструктуры более чем на 20 лет, повторяя ошибки других стран и в результате испытывая те же проблемы. Так, разрабатываемые в настоящее время в нашей стране проектные решения в большей степени отражают интересы владельцев индивидуальных легковых автомобилей, которые обеспечивают не более 40 % объёма пассажирских перевозок. Учёт же при модернизации транспортного каркаса города маршрутизированных видов общественного транспорта, представленных незначительной долей в структуре потока, но при этом выполняющих основной объём пассажирских перевозок, производится явно недостаточно [1; 4; 12].

Выраженная диспропорция в формировании приоритетов развития массового и индивидуального пассажирского транспорта способствует усилению противопоставления конкурирующих видов пассажирского транспорта и в итоге выводит обозначенную проблему на самый высокий градостроительный уровень [13].

Многие исследователи [2; 3; 8; 12; 14–17] отмечают, что выбор рациональной схемы маршрутов занимает одно из важнейших мест среди вопросов организации работы массового пассажирского транспорта. Затраты времени пассажиров на передвижение по городу во многом зависят от того, насколько качественно разработана маршрутная схема. В связи с этим маршрутную схему необходимо рассматривать в комплексе с улично-дорожной сетью города.

Вопросами совершенствования автобусных маршрутных схем, начиная с 30-х годов прошлого столетия, занимаются учёные всего мира. В области проектирования систем городского пассажирского транспорта в России основополагающими являются труды А. П. Александрова, Л. А. Бронштейна, А. Х. Зильберталя, В. С. Ларионова, А. А. Полякова, Д. С. Самойлова. Развитию научно обоснованных методов конструирования автобусных маршрутных схем посвящены работы Б. Л. Геронимуса, Д. Джумаева, М. Е. Антошвили, В. М. Бунеева [1], Г. А. Варелопуло, И. В. Спирина [3], Э. А. Сафронова, М. В. Хрущёва [15], Ф. Г. Глика [14], С. Ю. Ольховского [16] и В. В. Яворского. Среди работ зарубежных авторов особый интерес вызывают научные исследования, посвящённые вопросам моделирования сети общественного транспорта [18].

В результате изучения опыта маршрутизации установлено, что существующие методы построения оптимальных маршрутных схем требуют уточнения своих положений, т.к. не учитывают технические параметры городских улиц и дорог. Таким образом, дальнейшее развитие подхода к реформированию маршрутной схемы в увязке с функционированием магистральной сети является актуальным вопросом.

Анализ требований, предъявляемых к работе городского пассажирского транспорта, довольно подробно представленных в научных источниках, позволил выделить главные принципы оптимизации маршрутных схем движения (рис. 1) [4].

Применение принципа многовариантности обусловлено сложностью и неоднозначностью задачи маршрутизации городского пассажирского транспорта и продиктовано необходимостью выбора наиболее рационального решения. В связи с тем, что количество вариантов может быть велико, актуально применение методов, позволяющих снизить количество возможных вариантов. Этого можно достичь в результате исключения нереальных и неконкурентоспособных вариантов, а также отбора для детального рассмотрения лишь определённой их категории [15].

Представление поставленной цели в виде набора критериев эффективности является важнейшим этапом исследования системы городского пассажирского транспорта. При этом наиболее эффективным является метод, позволяющий производить поиск решения по одному наиболее важному критерию с переводом остальных в разряд ограничений. В общем виде его можно записать следующим образом [4]:

$$\begin{cases} X \to extrem \\ Y_1^{min} < Y_1 < Y_1^{max} \\ \dots \\ Y_n^{min} < Y_n < Y_n^{max} \end{cases}, \qquad (1)$$

где X – наиболее важный критерий, определённый на основе экспертных оценок;

Таблица 1

Критерии оптимизации маршрутных схем пассажирского транспорта

Область оптимизации	Наименование критериев оптимизации	Рациональные пределы варьирования критериев
Маршрутные схемы	Средние затраты времени на передвижения городского жителя $t_{ср\ общ}$	$t_{ср\ общ} < 40$ мин
	Коэффициент пересадочности $К_п$	$1{,}15 < К_п < 1{,}30$
	Маршрутный коэффициент $К_м$	$2{,}0 < К_м < 3{,}0$
	Плотность МС $\delta_м$	$1{,}5 < \delta_м < 2{,}5$
	Коэффициент непрямолинейности сообщений на маршрутной сети $К_{н\ общ}$	$К_{н\ общ} < 1{,}25$
Автобусные маршруты	Средние затраты времени пассажиров на поездки $t_{ср\ МТ}$	–
	Длина маршрута $l_м$	обычные 15–30 км кольцевые до 40 км
	Коэффициент использования предоставляемых мест $К_{исп}$	$К_{исп} > 0{,}5$
	Показатель состояния дорожного покрытия $Б_{ср}$	$Б_{ср} < 3{,}0$
	Коэффициент непрямолинейности сообщений на маршруте $К_н$	$К_н < 1{,}25$

Рис. 1. Принципы оптимизации маршрутных схем (схема авторов).

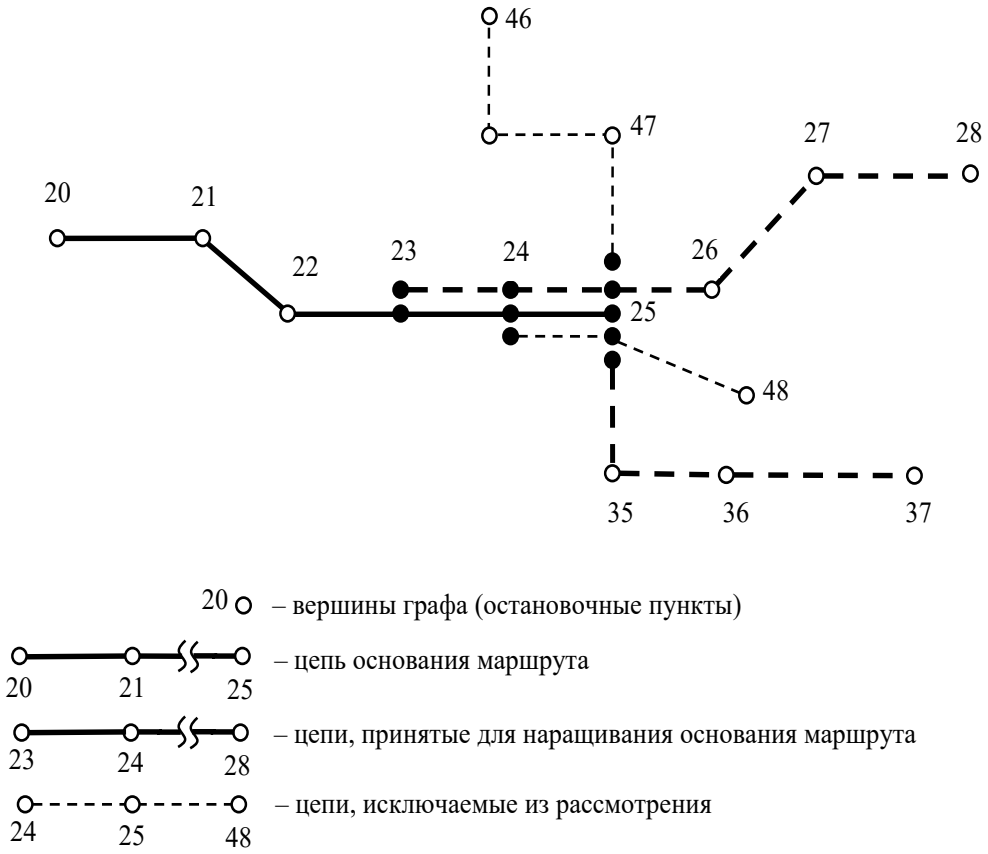

Рис. 2. Формирование вариантов совмещённых цепей (схема авторов).

Y – множество второстепенных критериев, достаточных для полноценного описания роли исследуемого объекта.

Принятые в работе критерии оптимизации отдельных маршрутов и маршрутных схем представлены в табл. 1 [4]. По мнению большинства исследователей, в качестве главного критерия могут выступать временн***ы***е затраты населения на передвижения. Причём нормы затрат времени на трудовые передвижения установлены действующим нормативным документом [19].

Принимая во внимание многокритериальный характер задачи маршрутизации, подход к выбору наиболее рационального решения следует представить в виде [4]:
для маршрутной схемы:

$$\begin{cases} t_{ср} \to min \\ l_{min} < l_{м} < l_{max} \\ K_{н} < K_{н}^{max} \\ K_{исп} > K_{исп}^{min} \\ Б_{ср} < Б_{max} \end{cases},$$

для отдельного маршрута:

$$\begin{cases} t_{ср} \to min \\ K_{м}^{min} < K_{м} < K_{м}^{max} \\ \delta_{м}^{min} < \delta_{м} < \delta_{м}^{max} \\ K_{п}^{min} < K_{п} < K_{п}^{max} \\ K_{н}^{min} < K_{н} < K_{н}^{max} \end{cases}. \qquad (2)$$

Среди известных подходов к совершенствованию действующей маршрутной схемы следует выделить метод последовательного приближения к оптимальному варианту, рассмотренный в трудах Ф. Г. Глика [14]. Развитие отмеченного подхода прослеживается в работах С. Ю. Ольховского и В. В Яворского [16]. Учёные предложили более подробные зависимости и алгоритмы, позволяющие учесть при корректировке маршрутной сети ряд дополнительных критериев. Именно идеи этого подхода легли в основу методики [4], предложенной авторами данной статьи.

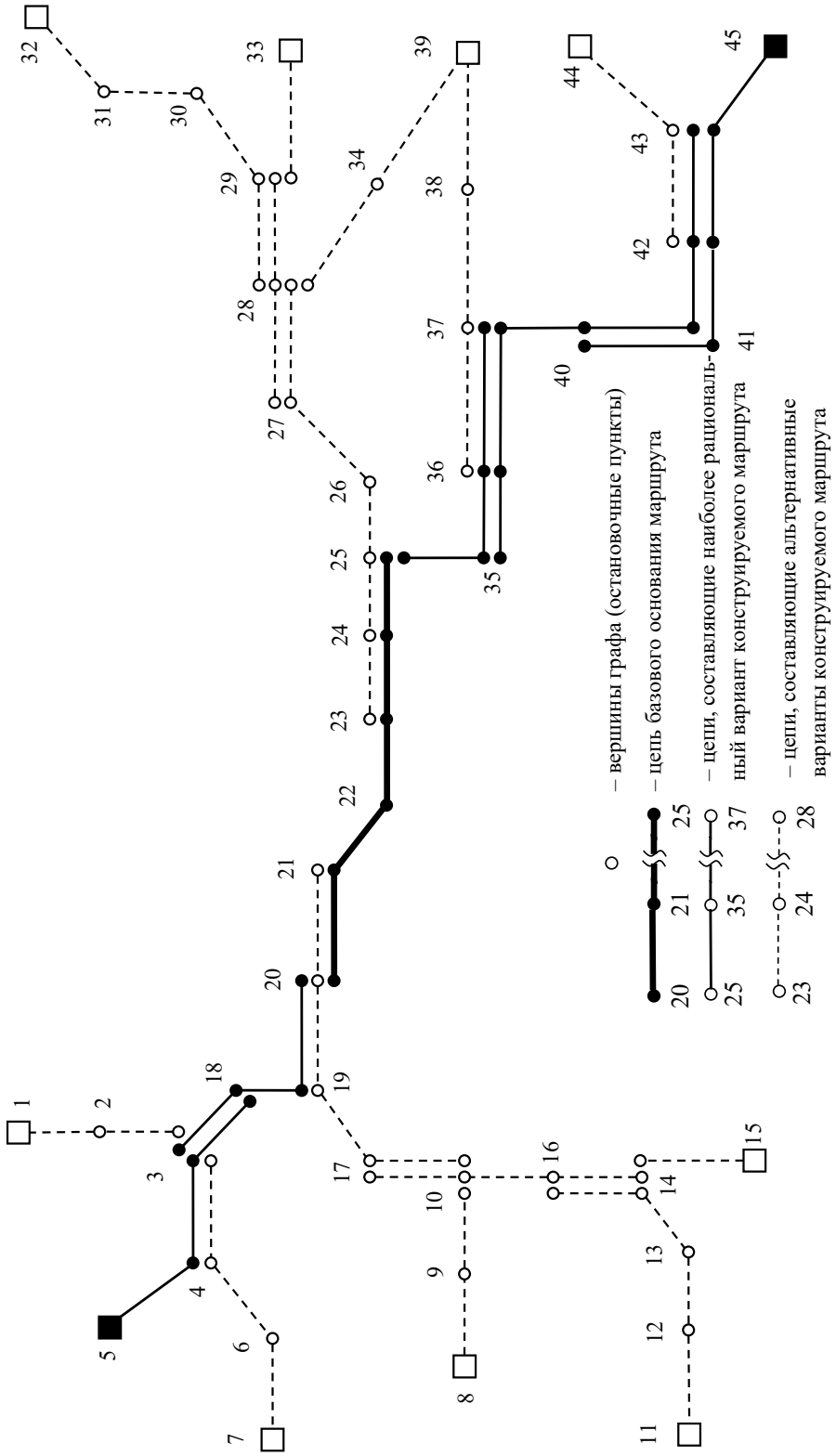

Рис. 3. Формирование подмножество вариантов проектируемого маршрута (схема авторов).

Рис. 4. Последовательность проектирования маршрутной схемы пассажирского транспорта, с учётом улучшения транспортно-эксплуатационных характеристик дорожной сети города (схема авторов).

Рассматриваемая методика основана на анализе матрицы корреспонденций, не обслуженных маршрутами, входящими в первоначальный базовый каркас. Последующее формирование нового маршрута-кандидата заключается в выборе его основания, соответствующего наиболее прямолинейной цепи из таблицы нереализованных связей с наибольшим значением пассажиропотока. Дальнейшие действия заключаются в наращивании рассматриваемого основания путём добавления к нему наиболее подходящих звеньев. При этом рассматриваются все связи, частично совпадающие с основанием формируемого маршрута, в дальнейшем из которых конструируется несколько вариантов совмещённых цепей. В зависимости от расположения основания маршрута относительно центральной части города, наращивание связей к первоначальной цепи выполняют в одну, либо в разные стороны, последовательно приближаясь к предполагаемым конечным пунктам. Для каждой совмещённой цепи, которая теперь рассматривается как новое основание маршрута, процесс наращивания связей повторяют (рис. 2). На основе полученного «дерева» цепей формируется набор вариантов проектируемого маршрута (рис. 3). В результате направленного поиска выбирается наиболее рациональный вариант, учитывающий критерии оптимизации (табл. 1), который в последующем войдёт в состав рациональной маршрутной схемы.

Наиболее рациональный вариант рассматриваемого маршрута устанавливают в соответствии с принятым критерием оптимальности из числа следующих: средние затраты времени пассажиров на поездки $t_{ср}$, длина маршрута $l_м$, коэффициент непрямолинейности сообщений $K_н$, коэффициент использования предоставляемых мест $K_{исп}$. Процедуру включения в первоначальный каркас новых маршрутов повторяют до тех пор, пока не будут реализованы все возможные корреспонденции. При этом стремятся, чтобы количество пересадок между несвязными районами не превышало одной. Процесс конструирования маршрутной схемы считают завершённым, если она полностью соответствует всем необходимым условиям.

Применение комбинаторного анализа с направленным отбором вариантов позволяет получить единственный вариант маршрутной схемы, по своим показателям близкий к оптимальному. Формирование разнообразных вариантов маршрутных схем может быть основано на альтернативных сценариях развития транспортной сети города. Выбор наиболее предпочтительного варианта маршрутной схемы осуществляют на основе установленных выше критериев оптимальности. При этом наиболее весомым является критерий затраченного населением времени на перемещение.

Основные этапы конструирования рациональной маршрутной схемы, с учётом развития магистральной сети города, представлены на рис. 4.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Принимая во внимание накопленный за длительный период опыт маршрутизации, развит подход к совершенствованию автобусной маршрутной схемы для условий крупного города в увязке с транспортно-эксплуатационным состоянием улично-дорожной сети. *В отличие от разработанных ранее методик, в предлагаемом подходе учтены критерии оптимизации, позволяющие комплексно оценить эффективность маршрутных схем.* Его суть заключается в «склеивании» отдельных звеньев транспортной сети и последовательном формировании набора конкурирующих вариантов маршрута, один из которых в дальнейшем войдёт в состав рациональной маршрутной схемы. На заключительном этапе предлагаемого алгоритма формируют альтернативные варианты рациональных маршрутных схем, основанные на сценариях развития транспортной инфраструктуры города. Это позволит обеспечить повышение скоростей движения всего транспортного потока и в результате уменьшить непроизводственные затраты времени городского населения на перемещения.

Дальнейшие исследования будут направлены на уточнение зависимостей и алгоритма расчёта скорости сообщения для различных видов пассажирского транспорта. При этом предполагается более полно учесть факторы, определяющие техническое состояние улично-дорожной сети, характеристики транспортных потоков, включая их сочетания. Кроме того, в ближайшей перспективе планируется изучить возможность автоматизации предлагаемых расчётных процедур с помощью специализированного программного обеспечения для транспортного планирования и моделирования – PTV Visum.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бунеев В. М., Новоселов В. И., Путилова Н. Н. Эффективность городского пассажирского транспорта: методы оценки и обоснования. – Новосибирск: НГАВТ, 2008. – 415 с.

2. Ефремов И. С., Кобозев В. М., Юдин В. А. Теория городских пассажирских перевозок. – М.: Высшая школа, 1980. – 535 с.

3. Спирин И. В. Научные основы комплексной реструктуризации городского пассажирского транспорта: Монография. – М.: ИКФ «Каталог», 2007. – 200 с.

4. Бурлуцкий А. А. Обеспечение эффективности функционирования дорожной сети крупного города на основе учёта её взаимодействия с потоками пассажирского транспорта (на примере г. Томска). – Томск, 2015. – 196 с. [Электронный ресурс]: https://www.dissercat.com/content/obespechenie-effektivnosti-funktsionirovaniya-dorozhnoi-seti-krupnogo-goroda-na-osnove-uchet. Доступ 21.05.2020.

5. Вучик В. Р. Транспорт в городах, удобных для жизни / Пер. с англ. А. Калинина, под науч. ред. М. Блинкина. – М.: Территория будущего, 2011. – 576 с.

6. PIARC: 20th World Road Congress. Montreal, 3–9 September. Transportation and Urban Space Planning. National Reports, 1995, 487 p.

7. Taylor, B. D. Rethinking Traffic Congestion. Institute of Transportation Studies, University of California, Los Angeles, ACCESS, 2002, No. 21, 9 p.

8. Фишельсон М. С. Определение оптимального уровня развития маршрутной системы городского пассажирского транспорта // Проблемы комплексного развития транспортных систем городов. Тезисы докладов и сообщений всесоюзного научн.-техн. семинара (Минск, 17–19 мая 1978 г.) – Минск, 1978. – С. 135–138.

9. Вол М., Мартин Б. Анализ транспортных систем / Сокр. пер. с англ. – М.: Транспорт, 1981. – 516 с.

10. Рэнкин В. У., Клафи П., Халберт С. и др. Автомобильные перевозки и организация дорожного движения: Справочник / Пер с англ. – М.: Транспорт, 1981. – 592 с.

11. Трофименко Ю. В., Якимов М. Р. Транспортное планирование: формирование эффективных транспортных систем крупных городов: Монография. – М.: Логос, 2013. – 464 с.

12. Михайлов А. Ю., Головных И. М. Современные тенденции проектирования и реконструкции улично-дорожной сети городов. – Новосибирск: Наука, 2004. – 267 с.

13. Бурлуцкий А. А., Коренев В. И., Гусева У. Ю. Градостроительные аспекты формирования транспортной схемы в историческом центре Томска // Вестник ТГАСУ. – Томск: Изд. ТГАСУ, 2018. – № 1. – С. 128–139. [Электронный ресурс]: https://cyberleninka.ru/article/n/gradostroitelnye-aspekty-formirovaniya-transportnoy-shemy-v-istoricheskom-tsentre-g-tomska-1/pdf. Доступ 21.05.2020.

14. Глик Ф. Г. Интерактивное конструирование маршрутной системы городского пассажирского транспорта // Градостроительство. – Киев: Будивельник, 1987. – Вып. 39. – С. 100–106.

15. Хрущёв М. В. Методы общей и локальной маршрутизации автобусного транспорта в городах: Монография. – М.: Гос. ун-т упр., 1999. – 168 с.

16. Ольховский С. Ю., Яворский В. В. Моделирование функционирования и развития маршрутизированных систем городского пассажирского транспорта: Монография. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2001. – 138 с.

17. Ваксман С. А., Герасимов Н. М., Слепухина И. А. Информационные технологии в управлении городским общественным пассажирским транспортом: Монография. – Екатеринбург, 2012. – 258 с.

18. Dimitrov, S., Ceder, A., Chowdhury, S., Monot, M. Modeling the interaction between buses, passengers and cars on a bus route using a multi-agent system. *Transportation Planning and Technology*, 2017, Vol. 40, No. 5, pp. 592–610. DOI: https://doi.org/10.1080/03081060.2017.1314504.

19. СП 42.13330.2016 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89*. – М.: Стандартинформ, 2017. – 90 с. [Электронный ресурс]: http://docs.cntd.ru/document/456054209. Доступ 21.05.2020.