



Оценка транспортной обеспеченности на основе прогнозных моделей



Михаил ЯКИМОВ

Mikhail R. YAKIMOV

Estimation of Transport Accessibility Level on the Basis of Forecast Models

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 14)

В статье представлена методология расчёта параметров транспортной обеспеченности территорий крупных городов. С помощью предложенной модели можно оценить ситуацию с объёмами транспортных корреспонденций, а также изменение показателей обеспеченности после реализации отдельных сценариев развития транспортной инфраструктуры. Способы расчёта моделирования, прогнозирования дорожной загрузки, вводимые принципы зонирования дают специалистам в области градостроительства, транспортного планирования и организации дорожного движения в городах понятный им инструмент формирования надёжной транспортной системы.

Ключевые слова: городская транспортная система, моделирование, организация дорожного движения, транспортная обеспеченность территорий, зонирование, инфраструктура, гражданский инжиниринг, урбанистическая география.

Якимов Михаил Ростиславович – доктор технических наук, профессор Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, Россия.

Создание эффективной транспортной системы города прямо отвечает задаче повышения качества жизни на его территориях. Инструментами формирования такой системы являются прежде всего транспортное планирование, организация дорожного движения, маршрутной сети пассажирского транспорта общего пользования и парковочная политика.

В системе затрат времени и денег качество и назначение транспортных систем целесообразно рассматривать с двух сторон:

- обеспечение транспортной доступности;
- снижение транспортных издержек.

Первый критерий оценивается через восприятие человеком самой возможности осуществления необходимой ему транспортной корреспонденции. Второй критерий легко формализуем через количество времени или денег, затрачиваемых человеком на свои транспортные потребности.

Общий показатель качества функционирования транспортной системы выражается через величину транспортных издержек — среднее время реализации транспортных корреспонденций, которое рас-

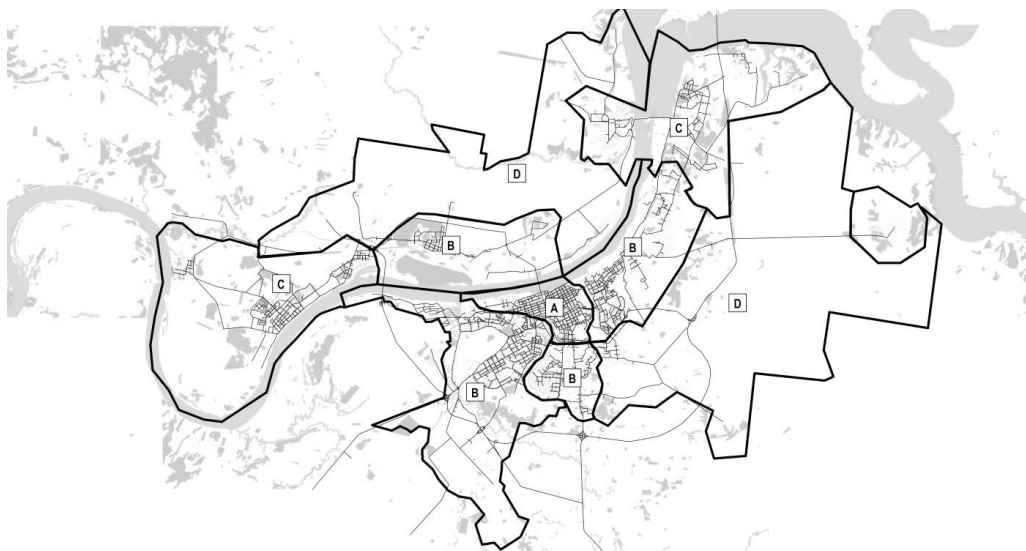


Рис. 1. Пример зонирования территории города.

считывается для города в целом, усреднение происходит для всех корреспонденций.

При проведении транспортного анализа территории крупного города можно отметить существенную неравномерность использования городской территории. С увеличением расстояния от центра уменьшается не только плотность освоенных территорий и земли под объектами недвижимости, но и общий баланс площадей, занятых под частные нужды и общественные цели, включая содержание улично-дорожной сети. Аналогичная ситуация наблюдается с развитием инфраструктуры городского пассажирского транспорта общего пользования. То есть центральные территории города имеют большую транспортную зависимость, в отличие от территорий периферии. И, следовательно, сложившийся баланс использования территории, в частности отвод под транспортную инфраструктуру – экономически оправдан.

Однако это приводит к различию оценок качества функционирования транспортной системы людьми, проживающими на различных городских территориях. Как и в аналогии с другими инженерными сетями, объектами обслуживания и т.п., жители оценивают свою транспортную обеспеченность, исходя из окружающих их реалий.

С одной стороны, различия в этих оценках порождают социальные конфликты, с другой стороны, выравнивание транс-

портной обеспеченности на всех территориях экономически неоправданно. Становится очевидным, что повышение качества транспортной системы города является задачей не только формирования достойного предложения, но и создания условий для изменения транспортного спроса [1].

ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Раздельная оценка транспортной обеспеченности территории подразумевает деление общей площади города на транспортные зоны, которые относятся к четырём типам. Разбивку территории предлагается проводить по следующему принципу [2]:

1. Городской центр (зона А). Для зон данного типа характерна максимальная деловая активность.

2. Центральные районы, прилегающие к городскому центру (зона В). Здесь преобладают высотная застройка и многофункциональное использование территории.

3. Удалённые районы (зона С). Имеют собственные центры деловой и социальной активности, в перспективе – преобразование в самодостаточные поселения и автономизация.

4. Обширные участки с низкой плотностью населения и малоэтажными строениями (зона D).

Пример зонирования приведён на рис. 1.



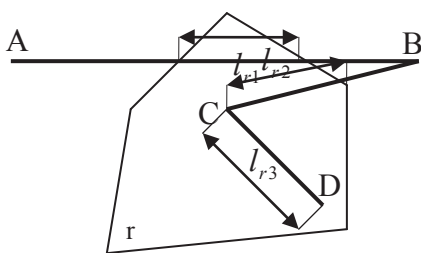


Рис. 2. Типы прохождения корреспонденций через транспортную зону.

Видится логичным при оценке качества функционирования транспортной системы ввести понятие «транспортная обеспеченность территории». В идеале любой город должен представлять собой набор условных территорий (зон) с равной транспортной обеспеченностью. То есть цель транспортной политики города — добиваться выравнивания транспортной обеспеченности.

Для формализации понятия транспортной обеспеченности предлагается в отдельных городских зонах оценивать объёмы транспортных корреспонденций и время их реализации по трём типам перемещений: транзит, въезд, внутреннее движение. Проиллюстрируем это на рис. 2 [3].

Через исследуемую область r проходят маршруты, соединяющие центры транспортных районов: A, B, C, D. Возможны три типа ($S = 1, 2, 3$) прохождения:

1-й тип (A — B) транзит — маршрут пересекает границы исследуемой области в двух точках;

2-й тип (B — C) въезд/выезд — маршрут пересекает границы в одной точке;

3-й тип (C — D) внутреннее движение — маршрут не пересекает границы исследуемой области, а центры находятся внутри неё.

Для каждого типа перемещений будет введён свой дифференцированный показатель транспортной обеспеченности территории [4]:

1. Транспортная обеспеченность территории (TOT).

2. Транспортная обеспеченность доступа к территории (TOD).

3. Транспортная обеспеченность транзита через территорию (TOTR).

Каждый из трёх показателей характеризует транспортную обеспеченность территории с точки зрения её способности

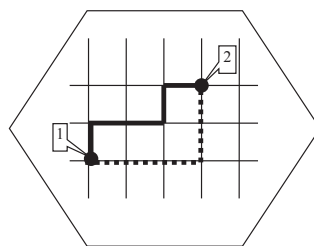


Рис. 3. Схема, иллюстрирующая принцип расчёта параметра TOT.

удовлетворить транспортный спрос, связанный с соответствующим типом перемещений, и вычисляется как среднее время реализации транспортных корреспонденций на исследуемой территории.

Транспортная обеспеченность территории показывает ситуацию с точки зрения реализации внутреннего движения.

Транспортная обеспеченность доступа к территории — с точки зрения реализации въезда на рассматриваемую территорию.

Транспортная обеспеченность транзита через территорию — с точки зрения возможности сквозного движения.

Преследуя цель выравнивания транспортной обеспеченности территорий города, необходимо отдельно оценивать вклад каждого типа показателей в общий показатель целевой функции транспортной системы — среднее время реализации транспортных корреспонденций. Причём у последних будут ещё и свои весовые коэффициенты.

В качестве теоретического обоснования целесообразности такого подхода нужно отметить несколько моментов, иллюстрирующих сложившийся в транспортных системах многих городов дисбаланс между потребностями в транспортном движении и характером использования существующей транспортной инфраструктуры.

Так, наращивание транспортной инфраструктуры в центральных частях городов никак не сказывается на её загрузке, при этом растёт только интенсивность движения, а также меняется баланс типов транспортных корреспонденций — внутренних, пограничных и транзитных. С ростом транспортного предложения баланс изменяется в сторону увеличения доли реализации транзитных корреспонденций.



Рис. 4. Фрагмент прогнозной модели для определения параметров транспортной обеспеченности зоны А.

С другой стороны, наращивание транспортной инфраструктуры в периферийных районах, наоборот, ведёт там к росту внутренних корреспонденций [5].

ТРАНСПОРТНАЯ ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ ТЕРРИТОРИИ

Для выделения территорий равной транспортной обеспеченности следует для начала формализовать понятие «транспортная обеспеченность территории».

Транспортная обеспеченность территории (ТОТ) будет определяться как среднее время реализации внутренних корреспонденций исследуемой зоны [6].

Схема, иллюстрирующая выбор корреспонденций, а также принцип расчёта параметра ТОТ, представлена на рис. 3. Шестиугольник — это граница исследуемой области (территории города). Сетка внутри представляет собой фрагмент графа улично-дорожной сети. Как отмечалось, рассматриваемые корреспонденции имеют источник и цель (исток и сток) внутри обозначенной зоны. На приведённой схеме это точки 1 и 2. Для реализации корреспонденций между ними может существовать множество путей. На рис. 3 примеры перемещений из точки 1 в точку 2 отмечены жирной линией и пунктирной. Каждому из возможных путей можно присвоить свой номер.

На рис. 4 представлен фрагмент прогнозной модели. Стрелками выделены пути в границах первой зоны — городского центра (зона А) [7].

Возможны два способа определения транспортной обеспеченности территории.

Первый способ предполагает в качестве искомой величины средневзвешенное по количеству отдельных корреспонденций и их длине время реализации внутренних корреспонденций в исследуемой зоне. В этом случае значение транспортной обеспеченности территории находится формулой:

$$TOT = \frac{\sum_k x_{kCD} \cdot l_{kCD} \cdot t_{kCD}}{\sum_k x_{kCD} \cdot l_{kCD}}, \quad (1)$$

где ТОТ — транспортная обеспеченность территории, сек.;

k — порядковый номер пути типа CD;

x_{kCD} — количество корреспонденций на k -м пути типа CD за сутки;

t_{kCD} — время совершения корреспонденций на k -м пути типа CD, сек.;

l_{kCD} — длина k -го пути типа CD, м.

Второй способ расчёта нацелен получить средневзвешенное по количеству корреспонденций отношение их длин ко времени реализации. В этом случае значение транспортной обеспеченности территории будет измеряться в м/с:

$$TOT = \frac{\sum_k x_{kCD} \cdot l_{kCD}}{\sum_k x_{kCD} \cdot t_{kCD}}. \quad (2)$$

Оба показателя — время и отношение длины ко времени — характеризуют качество транспортной системы города на отдельно взятой территории относительно потребностей населения. Эти величины будут показывать либо среднее время, которое затрачивает житель для совершения внутризоновых корреспонденций, либо



Рис. 5. Схема, иллюстрирующая принцип расчёта параметра TOD.

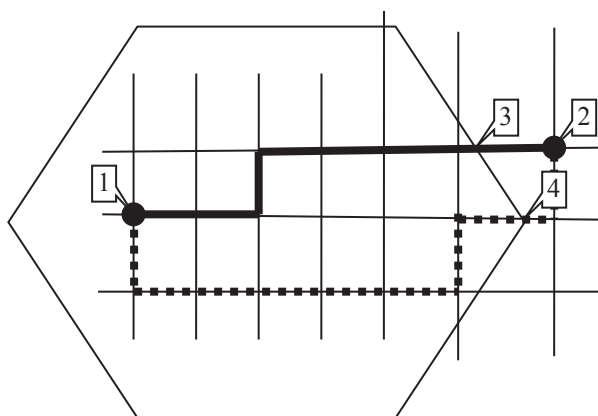


Рис. 6. Фрагмент прогнозной модели для определения параметров транспортной обеспеченности доступа к территории для зоны А.

скорость, с которой транспортная система позволяет ему их совершать. Полученные цифры, с одной стороны, покажут существующее в исследуемой зоне транспортное предложение, а с другой — позволят оценить потенциал для изменения структуры транспортного спроса на территории. Ведь понятно, что увеличение параметра транспортной обеспеченности территории (повышение скорости, либо снижение времени совершения корреспонденций) будет стимулировать и изменение структуры спроса в пользу внутренних корреспонденций.

ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ ДОСТУПА К ТЕРРИТОРИИ

Транспортная обеспеченность доступа к территории (TOD) будет определяться как среднее время реализации пограничных корреспонденций внутри исследуемой зоны.

Принцип выбора корреспонденций для расчёта TOD представлен на рис. 5. Шестиугольник — это граница исследуемой области (территории города). Сетка внутри и за пределами границы представляет собой фрагмент графа УДС. Рассматриваемые корреспонденции имеют исток внутри исследуемой зоны — точка 1. Сток за пределами зоны — на схеме это точка 2. Для реализации корреспонденций может существовать множество путей. На рисунке примеры перемещений из точки 1 в точку 2 даны жирной линией и пунктирной. Таким образом, при расчёте TOD учитываются только части путей, проходящие внутри зоны — допустим, от точки 1 и до точек выхода за границы зоны (точки 3 и 4). Каждому из возможных путей реализации корреспонденций можно присвоить свой номер.

На рис. 6 представлен фрагмент прогнозной модели для определения параметра

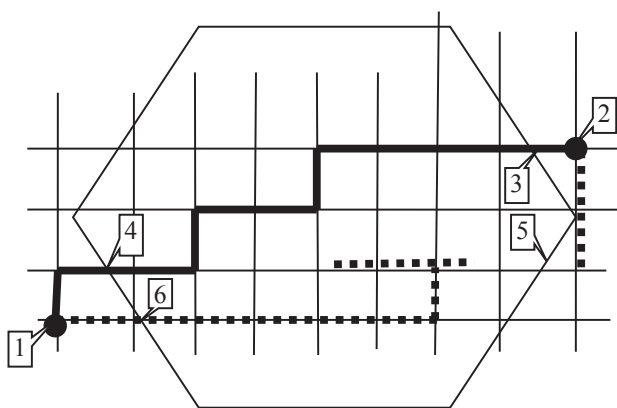


Рис. 7. Схема, иллюстрирующая принцип расчёта параметра TOD.

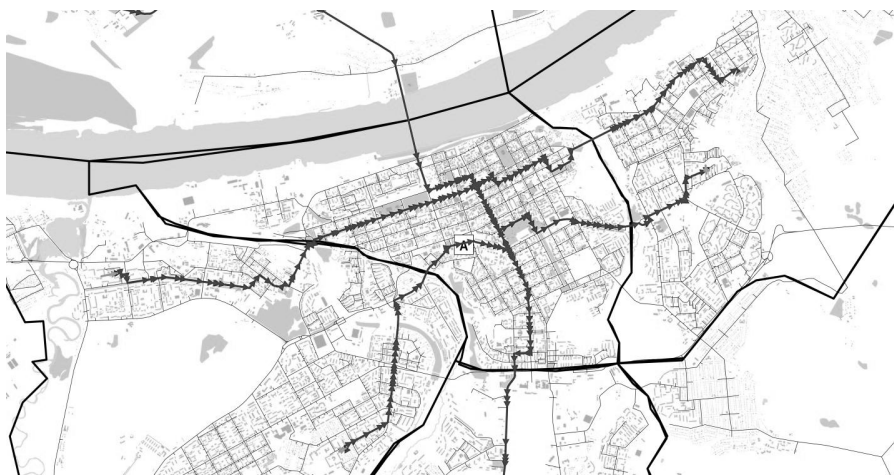


Рис. 8. Фрагмент прогнозной модели для определения параметров обеспеченности транзита через территорию зоны А.

тров транспортной обеспеченности доступа к территории. Стрелками выделены пограничные пути в границах первой зоны – городского центра (зона А).

Чтобы рассчитать транспортную обеспеченность доступа к территории, как и при определении транспортной обеспеченности территории (ТОТ), возможны два способа. Первым подтверждается приоритет времени перемещения:

$$TOD = \frac{\sum_k x_{kBC} \cdot l_{kBC} \cdot t_{kBC}}{\sum_k x_{kBC} \cdot l_{kBC}}, \quad (3)$$

где TOD – транспортная обеспеченность доступа к территории, сек.;

k – порядковый номер пути типа ВС в исследуемой зоне;

x_{kBC} – количество корреспонденций на k -м пути типа ВС за сутки;

t_{kBC} – время совершения корреспонденций на k -м пути типа ВС внутри территории, сек.;

l_{kBC} – длина k -го пути типа ВС внутри территории, м.

Второй способ отдаёт предпочтение скорости, м/с:

$$TOD = \frac{\sum_k x_{kBC} \cdot l_{kBC}}{\sum_k x_{kBC} \cdot t_{kBC}}. \quad (4)$$

ТРАНСПОРТНАЯ ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ ТРАНЗИТА

Что касается третьего показателя обеспеченности (TOTR), то он определяется как среднее время реализации транзитных корреспонденций, проходящих через территорию исследуемой зоны.

Принцип выбора корреспонденций для расчёта TOTR иллюстрирует рис. 7. Шестиугольник – это граница исследуемой области (территории города). Сетка внутри и за пределами контура представляет собой фрагмент графа УДС. Рассматриваемые корреспонденции имеют исток и сток за пределами зоны, точки 1



и 2. Для реализации корреспонденций может существовать множество путей. На схеме примеры перемещений из точки 1 в точку 2 отмечены жирной линией и пунктирной. При расчёте TOTR учитываются только части путей, проходящие внутри зоны, в нашем случае это отрезки между точками выхода из зоны 3–4 и 5–6. Каждому из возможных путей можно присвоить свой номер.

На рис. 8 представлен фрагмент прогнозной модели для определения параметров обеспеченности транзита. Стрелками выделены транзитные пути в границах первой зоны – городского центра (зона А).

Для определения транспортной обеспеченности транзита через территорию, аналогично TOT и TOD, возможны два способа [8]:

$$a) \text{TOTR} = \frac{\sum_k x_{kAB} \cdot l_{kAB} \cdot t_{kAB}}{\sum_k x_{kAB} \cdot l_{kAB}}, \quad (5)$$

где TOTR – транспортная обеспеченность транзита через территорию, сек;

k – порядковый номер пути типа АВ в исследуемой зоне;

x_{kAB} – количество корреспонденций на k -м пути типа АВ за сутки;

t_{kAB} – время совершения корреспонденций на k -м пути типа АВ внутри территории, сек.;

l_{kAB} – длина k -го пути типа АВ внутри территории, м.

$$б) \text{TOTR} = \frac{\sum_k x_{kAB} \cdot l_{kAB}}{\sum_k x_{kAB} \cdot t_{kAB}}, \quad (6)$$

где TOTR – транспортная обеспеченность транзита через территорию, м/с.

Первый способ даёт средневзвешенное по количеству отдельных корреспонденций и их длине значение времени реализации внутренних корреспонденций в исследуемой зоне, измеряемое в секундах. Вторым способом – средневзвешенное по количеству корреспонденций отношение длин корреспонденций ко времени их реализации, скорость в м/с.

С точки зрения внутреннего восприятия человеком своей транспортной обеспеченности различные типы поездок по их значимости стоят в определённой последовательности для каждой из территорий:

- внутреннее движение в зоне – параметр транспортной обеспеченности территории (TOT);

- пограничное движение в зоне – параметр транспортной обеспеченности доступа к территории (TOD);

- транзитное движение – параметр транспортной обеспеченности транзита через территорию (TOTR).

Реализация возможностей во внутреннем движении гораздо важнее для жизни человека, чем движение с пограничными целями или транзитное движение через территорию, где он проживает. Последнее в понимании жителей – определённый негативный фактор. Разбив город на отдельные транспортные зоны, можно представить каждую из зон как самостоятельный город со своей транспортной системой. Очевидно, что оценка качества такой локальной системы будет основана на оценке времени реализации именно внутренних корреспонденций, а не пограничных и тем более не транзитных.

Оригинальность дифференцированного подхода к оценке качества функционирования транспортных систем городов заключается в том, что производится разделение корреспонденций по типам. Для каждой территории рассчитываются транспортная обеспеченность, уровень доступа к территории и возможности транзита через территорию. В результате любых изменений в транспортном предложении или транспортном спросе растёт вероятность увидеть, как повлияли изменения на ту или иную территорию.

ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ

Имея дифференцированные показатели качества функционирования транспортной системы, можно сформулировать и интегральный показатель транспортной обеспеченности для отдельной i -й территории [9].

Это будет некоторая линейная функция от дифференцированных параметров TOT, TOD и TOTR:

$$TI_{cpi} = f(TOT, TOD, TOTR). \quad (7)$$

Ввиду того что для каждого человека важно именно то, какие по типу корреспонденции совершаются внутри территории его проживания, следует ввести коэффициенты, которые будут учитывать предпочтения людей. Такими коэффициентами являются

$\beta_{AB}, \beta_{BC}, \beta_{CD}$. Причём тип корреспонденции играет одинаковую роль, независимо от зоны, где человек живёт. В связи с этим значения коэффициентов для разных территорий будут одинаковыми. Тогда: $ТИ_{cpi} = \beta_{AB} TOTR_i + \beta_{BC} TOD_i + \beta_{CD} TOT_i$, (8) где $ТИ_{cpi}$ — интегральный показатель транспортной обеспеченности отдельной i -й территории; $\beta_{AB}, \beta_{BC}, \beta_{CD}$ — весовые коэффициенты дифференциальных показателей качества систем TOTR, TOD и TOT.

Полученный показатель $ТИ_{cpi}$ характеризует транспортную обеспеченность отдельных территорий города. Для оценки обеспеченности всей его территории будет использоваться значение параметра «интегральное время реализации транспортных корреспонденций» [10]. Оно рассчитывается как линейная комбинация интегральных показателей транспортной обеспеченности отдельных территорий. Так как среднее время корреспонденции в зоне зависит от протяжённости УДС, необходимо учесть это при определении параметра интегральной транспортной обеспеченности всего города, в частности введя весовые коэффициенты $\alpha_1, \dots, \alpha_{10}$ [11]. Тогда среднее интегральное время реализации транспортных корреспонденций с учётом коэффициентов для территорий будет составлять:

$$ТИ_{cp} = \alpha_1 ТИ_{cpi} + \alpha_2 ТИ_{cp2} + \dots + \alpha_{10} ТИ_{cp10} \quad (9)$$

где $ТИ_{cp}$ — среднее интегральное время реализации транспортных корреспонденций для города;

$ТИ_{cpi}$ — среднее интегральное время реализации транспортных корреспонденций для i -й зоны;

$\alpha_1, \dots, \alpha_{10}$ — весовые коэффициенты, рассчитываемые следующим образом:

$$\alpha_i = \frac{S_i}{\sum_{j=1}^{10} S_j} \quad (10)$$

где S_i — площадь УДС внутри зоны i .

Для каждой зоны можно определить «дефицит транспортной обеспеченности», сравнивая значения $ТИ_{cpi}$ со значением $ТИ_{cp}$. В случае, когда разности $ТИ_{cpi} - ТИ_{cp}$

отрицательны, можно говорить о дефиците транспортной обеспеченности для исследуемой зоны, поскольку затраты на совершение корреспонденций в ней превышают средние по городу [12].

Использование такого интегрального показателя совместно с показателем среднего времени реализации транспортных корреспонденций и дифференцированными показателями позволяет оценить как существующую транспортную обеспеченность территории, так и её изменение после реализации тех или иных сценариев транспортного спроса и транспортного предложения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трофименко Ю. В., Якимов М. Р. Транспортное планирование: формирование эффективных транспортных систем крупных городов: Монография. — М.: Логос, 2013. — 464 с.
2. Якимов М. Р. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов: Монография. — М.: Логос, 2013. — 188 с.
3. Якимов М. Р., Попов Ю. А. Транспортное планирование: Практические рекомендации по созданию транспортных моделей городов в программном комплексе PTV Vision® VISUM. — М.: Логос, 2014. — 200 с.
4. Якимов М. Р., Арепьева А. А. Транспортное планирование: Особенности моделирования транспортных потоков в крупных российских городах. — М.: Логос, 2016. — 280 с.
5. Якимов М. Р., Левда Н. М. Оптимальные модели формирования и развития транспортной системы города // Вестник ИНЖЕКОНА. Серия: Экономика. — 2010. — Вып. 3. — С. 231–238.
6. Якимов М. Р. Математическое моделирование распределения транспортного спроса в транспортной системе города // Транспорт: наука, техника, управление. — 2010. — № 10. — С. 7–13.
7. Якимов М. Р. Методика оценки транспортного потенциала городской территории // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: Материалы международной конференции. — СПб.: СПбГАСУ, 2010. — С. 333–337.
8. Якимов М. Р. Понятие «эффективность транспортной системы крупного города» // Социально-экономические проблемы развития и функционирования транспортных систем городов и зон их влияния: Материалы XVII междунар. науч.-практ. конференции. — Екатеринбург: УГЭУ, 2011. — С. 53–59.
9. Михайлов А. Ю. Интегральный критерий оценки качества функционирования улично-дорожных сетей // Известия ИГЭА. — 2004. — С. 50–53.
10. Вучик В. Р. Транспорт в городах, удобных для жизни. — М.: Территория будущего, 2011. — 576 с.
11. Ortuzar J. D., Willumsen L. G. Modeling Transport. John Wiley & Sons Ltd. — 2001. — P. 594.
12. Lohse D. Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung, Band 2: Verkehrsplanung, 2. Aufgabe, Berlin, Verlag für Bauwesen GmbH, 1997. — 326 p.

Координаты автора: **Якимов М. Р.** — auto@perm.ru.

Статья поступила в редакцию 18.08.2016, актуализирована 12.05.2017, принята к публикации 21.09.2017.

