Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и тоннелей

УДК 656.02

© Р. Н. Горбунов, аспирант
(Иркутский национальный исследовательский
технический университет)
E-mail: gorbunow@list.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2018-16-5-189-196

© R. N. Gorbunov, post-graduate student
(Irkutsk National Research
Technical University)
E-mail: gorbunow@list.ru

ОЦЕНКА УРОВНЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ НА ОСНОВЕ ВРЕМЕННОГО ИНДЕКСА

SERVICE LEVEL ASSESSMENT BASED ON THE TRAVEL TIME INDEX

Приводится описание подходов к оценке качества функционирования улично-дорожной сети на основе временного индекса. Приводятся результаты эксперимента по влиянию протяженности маршрута на значения показателя временного индекса. Предложены подходы к построению шкал для оценки уровня обслуживания существующих улично-дорожных сетей на основе временного индекса.

Ключевые слова: улично-дорожная сеть, уровень обслуживания, временной индекс, шкала оценки.

The article describes the approaches to assessing the quality of the road network functioning based on the travel time index. The results of the experiment on the effect of the route length on the values of the travel time index are given. There are proposed approaches to the construction of rating scales for assessing the level of service of the existing street-road networks based on the travel time index.

Keywords: street-road network, level of service, travel time index, rating scale.

В последние годы вопрос об оценке качества и надежности организации дорожного движения становится все более актуальным [1, 2, 4–15]. При этом процесс дорожного движения весьма сложный с точки зрения его описания. Математические модели, описывающие решение транспортных задач, иногда приводят к парадоксам. Так, в некоторых случаях увеличение пропускной способности или строительство новых дорог может вызвать увеличение заторов. Данный парадокс находит подтверждение на практике и называется парадоксом Браесса [15]. В то же самое время правила поведения участников дорожного движения на дорогах описываются более общими теориями: теорией массового обслуживания и теорией игр. По сути каждый из участников дорожного движения, выезжая из пункта «А» в пункт «Б», решает задачу по выбору стратегии для оптимизации своего выигрыша (минимизации затрат). Но если со стороны пользователя задача оптимизации сводится к минимизации индивидуальных затрат на передвижение, то

со стороны государственных органов, ответственных за организацию дорожного движения, рассматриваются вопросы оптимизации бюджетных расходов, снижения нагрузки на экологию, а также повышения производительности труда и безопасности дорожного движения.

Решение задачи повышения безопасности и организации дорожного движения может быть сведено к поиску или созданию условий движения в соответствии со стратегиями перемещения участников движения, равновесными по Нэшу, при которых участникам дорожного движения будет невыгодно нарушать правила дорожного движения. При этом должны снижаться экономические расходы, нагрузка на экологию и повышаться безопасность дорожного движения. Данные задачи могут решаться с помощью методик дизайна механизмов.

Математическое моделирование транспортных процессов — сложная процедура, требующая детальной проработки и учета различных условий движения. Например, нарастание за-

торов происходит лавинообразно. Повышение количества автомобилей всего на 10–15 % по сравнению с количеством автомобилей, двигающихся в свободном потоке, может приводить к существенному снижению скоростей движения, образованию заторов [3].

Математическое моделирование позволяет описать транспортные процессы, спрогнозировать их, но не менее важно оценить качество организации дорожного движения.

Для оценки качества или надежности организации дорожного движения (ОДД) могут быть использованы такие показатели, как временной и буферный индексы, которые описывают состояние автомобильной дороги в пиковые периоды.

В соответствии с методикой, предложенной Бюро транспортной статистики США [13], временной индекс определяется по формуле

$$IT_i = \frac{T_p}{T_{ff}}, \quad (1)$$

где T_p — затраты времени на передвижение в пиковый период; T_{ff} — затраты времени на передвижение в свободных условиях.

Буферный индекс по этой методике определяется по формуле

$$I_b = \frac{T_p - \bar{T}}{\bar{T}}, \quad (2)$$

где T_p — затраты времени на передвижение в пиковый период; $\bar{T}$ — средняя продолжительность передвижения.

Для оценки качества ОДД результаты расчетов индексов, полученных на основании собранных данных, следует сопоставить с оценочной шкалой.

В рамках проводимого исследования в 2016–2019 гг. была собрана база данных треков, полученных с навигационного оборудования автомобилей-«доноров», в г. Иркутске при передвижении в трудовых, культурно-бытовых и иных целях. На основании базы данных треков был выбран 21 путь (табл. 1, №1–21) с достаточным количеством треков для оценки временного индекса. Максимальная протяженность пути составила порядка 8 км. В связи с необходимостью оценки влияния на значение временного индекса путей большей протяженности автомобилем-лабораторией были записаны треки (табл. 1, № 22–32) протяженностью 10–30 км в свободных условиях и в пиковые периоды.

На основании собранной информации о движении по 32 путям протяженностью от 0,6 до 30,2 км можно провести расчет временного индекса.

Расчет буферного индекса не проводился, поскольку полученного объема треков по большинству путей недостаточно для его точного определения.

Описание путей, их протяженность и расчетное значение временного индекса приведены в табл. 1.

На основании собранных данных была получена зависимость значений временного индекса от протяженности пути (рис. 1).

Таким образом, было установлено, что значение временного индекса зависит от протяженности пути и изменяется нелинейно. Аналогичный результат для загородных автодорог был получен ранее [11].

Полученное уравнение может применяться для двухдиапазонной экспресс-оценки уровня обслуживания, все получаемые значения, расположенные выше графика кривой, являются неудовлетворительными, расположенные ниже — удовлетворительными (рис. 2).

На основании полученной зависимости определяется диапазон граничных значений временного индекса в зависимости от протяженности оцениваемого пути (табл. 2).

С точки зрения участников дорожного движения пробки должны отсутствовать, временной индекс стремиться к единице, что в целом отражено в ОДМ 218.2.020–2012 «Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог» (далее ОДМ).

В соответствии с данными методическими рекомендациями показатель временного индекса, рассчитанный по используемой нами формуле, должен быть в диапазоне от 1,1 до 3,3, при этом функционирование автодороги с перегрузкой считается функционированием при значении временного индекса 1,8 и более.

На основании выявленной закономерности можно установить, что для существующей улично-дорожной сети (УДС), спроектированной и построенной десятки лет назад из расчета меньшей пропускной способности, использование предложенной в ОДМ шкалы оценки будет показывать крайне низкий уровень обслуживания.

Таблица 1

Описание оцениваемых путей

№ п/п	Оцениваемый путь в г. Иркутске	Протяженность, м	Временной индекс
1	ул. Маяковского — Глазковский Мост — ул. Степана Разина — ул. Марата — ул. Карла Маркса — ул. Ленина — ул. Советская — ул. Карла Либкнехта	4600	2,44
2	ул. Горького — ул. Марата — ул. Ленина — ул. Карла Маркса — ул. Советская — ул. Карла Либкнехта	2850	3,32
3	ул. Ленина — ул. Подгорная — ул. Горная — ул. Уткина — ул. Декабрьских Событий — ул. Красногвардейская	2000	4,01
4	ул. Каландарашвили — ул. Ударника — ул. Карла Маркса — ул. Франк-Каменецкого — ул. Дзержинского — ул. Октябрьской Революции — ул. Фридриха Энгельса — ул. Красногвардейская	1650	3,52
5	ул. Декабрьских Событий — ул. Карла Маркса — ул. Ленина	1400	5,39
6	Пивзаводской пер. — ул. Баррикад — ул. Фридриха Энгельса — Милицейский пер. — ул. Красногвардейская	1450	4,39
7	ул. Костычева — ул. Стасова — ул. Лермонтова — ул. Игошина	3650	2,44
8	Юбилейный мкр. — ул. Захарова — Плотина ГЭС — ул. Байкальская — ул. Станиславского — ул. Депутатская — ул. Красных Мадьяр	7950	2,29
9	ул. Трилисера — ул. Депутатская — ул. Станиславского — ул. Байкальская — Плотина ГЭС — ул. Захарова — Юбилейный мкр.	7450	2,39
10	ул. Красногвардейская — ул. Подаптечная — ул. Красноказахья — ул. Советская — ул. Депутатская	1430	4,58
11	ул. Красногвардейская — ул. Подаптечная — ул. Красноказахья — ул. Лызина — ул. Аэрофлотская	1330	5,06
12	ул. Депутатская — ул. Советская — ул. Аэрофлотская — ул. Лызина	570	7,65
13	ул. Красных Мадьяр — ул. Красноказахья — ул. Подаптечная — ул. Красногвардейская	1860	3,60
14	ул. Вампилова — Объездная — Академический Мост — ул. Партизанская	5630	2,39
15	ул. Ломоносова — ул. Лермонтова — Академический Мост — ул. Партизанская	5500	3,21
16	ул. Октябрьской Революции — ул. Фридриха Энгельса — ул. Баррикад — Пивзаводской пер.	1220	5,96
17	ул. Ломоносова — ул. Лермонтова — ул. Гоголя — ул. Звездинская — ул. Челнокова — Глазковский Мост — ул. Российская	4070	3,87
18	Комсомол (ул. 3 июля) — Академический Мост — ул. Лермонтова — ул. Игошина	4400	2,79
19	ул. Партизанская — Академический Мост — Объездная — ул. Вампилова	5620	2,66
20	Комсомол (ул. 3-го Июля) — Академический Мост — Объездная — ул. Вампилова	4550	2,41
21	ул. Красногвардейская — ул. Декабрьских Событий — ул. Рабочая — ул. Сухэ-Батора	1940	4,10
22	ул. Трилисера — ул. Депутатская — ул. Станиславского — ул. Байкальская — Плотина ГЭС — ул. Захарова — Юбилейный — ул. Сеченова — ул. Академическая — ул. Старокузьмичинская — Академический Мост — ул. Гагарина — ул. Карла Маркса — ул. 5-й армии — ул. Свердлова	20300	1,66
23	ул. Свердлова — ул. Степана Разина — ул. Марата — ул. Карла Маркса — ул. Гагарина — Академический Мост — ул. Лермонтова — ул. Гоголя — ул. Шмидта — ул. Лермонтова — ул. Ломоносова	10000	2,67
24	ул. Советская — ул. Декабрьских Событий — ул. Карла Маркса — ул. Ленина — ул. Седова — ул. Советская — ул. Байкальская — Кольцо — ул. Ширямова — ул. Советская — ул. Депутатская	15800	1,55

Окончание табл. 1

№ п/п	Оцениваемый путь в г. Иркутске	Протяженность, м	Временной индекс
25	ул. Свердлова — ул. Степана Разина — ул. Марата — ул. Карла Маркса — ул. Седова — ул. Советская — ул. Ширямова — ул. Пискунова — ул. Ядринцева — ул. Трилисера — ул. Красноказахья — ул. Красных Мадыар — ул. Депутатская	10450	1,97
26	ул. Депутатская — ул. Советская — ул. Седова — ул. Ленина — Пл. графа Сперанского — ул. Чкалова — Глазковский Мост — ул. Джамбула — ул. 2-я Железнодорожная — ул. Лермонтова — ул. Академическая — Захарова — Плотина ГЭС — ул. Байкальская — ул. Седова — ул. 25 лет Октября — ул. Кожова — ул. Гагарина — ул. Карла Маркса — ул. 5-й Армии — ул. Свердлова	25800	1,68
27	ул. Депутатская — ул. Советская — ул. Байкальская — ул. Жукова — ул. Ржанова — ул. Байкальская — ул. Дыбовского — ул. Депутатская — ул. Декабрьских Событий — ул. Фридриха Энгельса — ул. Софьи Перовской — ул. Байкальская — ул. Тимирязева — ул. Ленина — ул. Дзержинского — ул. Декабрьских Событий — ул. Карла Маркса — ул. Франк-Каменецкого (Кольцо) — ул. Рабочая — ул. Баррикад — ул. Фридриха Энгельса — Милицейский пер. — ул. Красногвардейская	21300	1,47
28	ул. Советская — ул. Декабрьских Событий — ул. Красногвардейская — ул. Октябрьской Революции — ул. Фридриха Энгельса — ул. Баррикад — ул. Рабочего Штаба — Мост — ул. Полярная — ул. Новаторов — ул. Мира — ул. Тракторная — ул. Джамбула — ул. 2-я Железнодорожная — ул. Маяковского — Глазковский Мост — ул. Степана Разина — ул. Свердлова	30200	1,32
29	ул. Новаторов — ул. Мира — ул. Тракторная — ул. Джамбула — ул. 2-я Железнодорожная — ул. Маяковского — Глазковский Мост — ул. Степана Разина — ул. Свердлова — ул. Марата — ул. Карла Маркса — ул. Ленина — ул. Подгорная — ул. Горная — ул. Уткина — ул. Декабрьских Событий — ул. Красногвардейская	14060	1,38
30	ул. Советская — ул. Декабрьских Событий — ул. Красногвардейская — ул. Октябрьской Революции — ул. Фридриха Энгельса — ул. Баррикад — ул. Рабочего Штаба — Глазковский Мост — ул. Полярная — Нефтебаза	12010	1,47
31	ул. Трилисера — ул. Депутатская — ул. Станиславского — ул. Байкальская — Плотина ГЭС — ул. Захарова — Юбилейный мкр. — ул. Сеченова — ул. Академическая — ул. Старокузьмичинская — Академический Мост — ул. 3-го Июля	17420	1,86
32	ул. Тимирязева — ул. Ленина — ул. Сухэ-Батора — Пл. графа Сперанского — ул. Чкалова — Глазковский Мост — ул. Джамбула — ул. 2-я Железнодорожная — ул. Лермонтова — ул. Академическая — ул. Захарова — Плотина ГЭС — ул. Байкальская — ул. Седова — ул. Пискунова	18400	1,86

ния. Таким образом, предложенная ОДМ шкала может использоваться как целевая шкала при проектировании и строительстве новых автомобильных дорог.

Разработка единой интервальной шкалы с иными диапазонами оценки уровня обслуживания на основе временного индекса не позволит достоверно оценить фактическое качество функ-

ционирования автомобильных дорог исходя из реально существующей ситуации.

Таким образом, может быть предложено два подхода к созданию шкал для оценки уровня обслуживания для существующих сетей УДС.

Первый подход заключается в создании нескольких шкал с одним измеряемым параметром

Рис. 1. Зависимость временного индекса от протяженности пути на основе собранных данных

Рис. 2. Экспресс-оценка уровня обслуживания на основании собранных данных

для различных групп улиц, сгруппированных по типам, протяженности, иным параметрам.

Второй подход заключается в создании единой шкалы с несколькими измеряемыми параметрами, например, нелинейная шкала оценки уровня обслуживания в зависимости от значения временного индекса и протяженности пути [11].

Применяя первый подход, на основании полученных экспериментальных данных может быть предложено для г. Иркутска шесть диапазонов протяженности оцениваемых путей с соответствующими шкалами для их оценки уровня обслуживания на основе временного индекса (табл. 3). Диапазоны шкал были выбраны на основании равной вероятности нахождения данных в указанных диапазонах (границы 20, 40, 60, 80 перцентилей). Протяженности путей были округлены для упрощения применения шкал.

Проверив выборки данных, полученные для данных диапазонов, с помощью t -критерия Стьюдента, можно более чем с 95 %-ной вероятностью полагать, что представленные в указанных диапазонах данные выборки статистически различаются, что подтверждает возможность использования выбранных диапазонов для построения шкал.

В связи с тем что протяженность и пропускная способность УДС, особенно в центральной части городов, в зависимости от года ее постройки может различаться, потребуется создание нескольких шкал для оценки уровня обслуживания в городах.

Создание шкал на основе второго подхода требует большего количества данных и большей трудоемкости при дальнейшем использовании с точки зрения сопоставления фактических данных с нормативными.

Дальнейшая работа должна быть направлена на сбор большего объема данных для различных городов и разработку шкал с учетом дополнительных параметров (размер города, климатическая зона, времена года и т. п.), в том числе с применением геоинформационных технологий.

Временной индекс может быть основой для построения шкал для оценки уровня обслуживания. Единая шкала для оценки уровня обслуживания, основанная на запросах участников дорожного движения, не применима для оценки существующих сетей УДС, спроектированных без учета текущего уровня автомобилизации. Применение нескольких шкал позволит производить более точную оценку уровня обслуживания для разных городов и типов улиц, с учетом их протяженности.

Таблица 2

Значения временного индекса в зависимости от протяженности пути

Временной индекс	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Протяженность, м	58 213	10861	4073	2029	1182	760	523	379	285	221

Таблица 3

Шкалы для оценки уровня обслуживания

№ п/п	Протяженность, м	Значения временного индекса	Описание	Уровень обслуживания				
				A	B	C	D	E
1	0–750	6–∞	Участки УДС (один или несколько сегментов) с очень высоким уровнем загрузки в часы пик, участки концентрации заборов, центральные улицы города или транспортные развязки	1–6,57	6,57–7,32	7,32–8,48	8,48–10,68	10,68–∞
2	750–1200	5–6	Более протяженные участки УДС с очень высоким уровнем загрузки в часы пик, участки УДС на подходе к местам концентрации заборов	1–5,16	5,16–5,39	5,39–5,65	5,65–6	6–∞
3	1200–2000	4–5	Участки УДС с высоким уровнем загрузки в часы пик. Включают участки меньшей протяженности с более высоким значением временного индекса и участки УДС, их соединяющие. Пути следования в пределах одного района или границ двух соседствующих районов	1–4,19	4,19–4,38	4,38–4,61	4,61–5	5–∞
4	2000–4000	3–4	Участки УДС с довольно высоким уровнем загрузки в часы пик. Включают участки меньшей протяженности с более высоким значением временного индекса. Пути следования по трудовым и иным целям в пределах одного района или двух соседствующих районов	1–3,19	3,19–3,39	3,39–3,65	3,65–4	4–∞
5	4000–11000	2–3	Участки УДС со средним уровнем загрузки в часы пик. Включают участки меньшей протяженности с более высоким значением временного индекса. Пути следования между соседними и отдаленными районами, например, путь следования с окраины в центр по трудовым и другим целям	1–2,13	2,13–2,32	2,32–2,57	2,57–3	3–∞
6	11000–58000	1–2	Участки УДС с низким уровнем загрузки в часы пик. Включают участки меньшей протяженности с более высоким значением временного индекса. Пути следования между отдаленными районами, проходящие через несколько районов, например, путь, соединяющий выезды из города на федеральные и/или региональные трассы, путь следования транспортно-логистических компаний по городу и т. п.	1–1,1	1,1–1,24	1,24–1,47	1,47–2	2–∞

Библиографический список

1. Блинкин М. Я., Ткаченко Б. А. Системная оценка условий движения на базе модели Хермана-Пригожина // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния (Екатеринбург, 16-17 июня 2009 г.): Материалы XV Международной науч.-практ. конф. Екатеринбург: Изд-во АБМ, 2009. С. 135–143.
2. Бояркина Е. Ф., Захаров Н. С. Закономерности формирования количества легковых автомобилей на улично-дорожной сети города. Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. 160 с.
3. Гасников А., Дорн Ю., Прохоров А., Швецов В. Как бороться с пробками // Троицкий вариант. 2012. № 23 (117). С. 6–7.
4. Головных И. М., Михайлов А. Ю. Современные тенденции проектирования и реконструкции улично-дорожных сетей городов. Новосибирск: Наука, 2004. 267 с.
5. Горбунов Р. Н., Горбунова З. В., Михайлов А. Ю. Уровень обслуживания как показатель надежности улично-дорожной сети // Мир транспорта. 2018. № 4(77). Т. 16. С. 194–203.
6. Горбунов Р. Н., Михайлов А. Ю., Пиров Ж. Т. Оценка уровня обслуживания на основе критериев надежности // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. № 10. С. 188–194.
7. Левашев А. Г., Михайлов А. Ю., Шаров М. И. Современные методы оценки качества организации дорожного движения в городах. Иркутск, 2015. 218 с.
8. Левашев А. Г., Шаров М. И. Развитие критериев оценки качества обслуживания на городском пассажирском транспорте // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 7. С. 174–178.
9. Румянцев Е. А. Об эффективности критериев для оценки условий движения транспортных потоков // Организация безопасности дорожного движения (Санкт-Петербург, сентябрь 2010 г.): Материалы IX Международной конф. СПб., 2010. С. 121–123.
10. Тебеньков С. Е. Развитие методов мониторинга транспортных потоков для оперативного управления дорожным движением на магистралях: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10. Иркутск: ИрГТУ, 2013. 20 с.
11. Bennecke A., Friedrich B., Friedrich M., Lohmiller J. (2011). Time-dependent Service Quality of Network Sections. Highway Capacity and Quality of Service (June 28–July 1 of 2011): Proc. of the 6th International Symposium. Stockholm, Sweden, pp. 364–373.
12. Bertini R. L., Lyman K. (2008). Using Travel Time Reliability Measures to Improve Regional Transportation

Planning and Operations. Washington: Transportation Research Record. Vol. 2046. Pp. 1–10.

13. Bureau of Transportation Statistics [Электронный ресурс] // United States Department of Transportation: [сайт] [2019] URL: <https://www.bts.gov/content/travel-time-index> (дата обращения: 06.06.2019).

14. Chang J. S. (2010). Assessing Travel Time Reliability in Transport Appraisal. J. of Transport. Geography. Vol. 18. Pp. 419–425.

15. Roughgarden T., Valiant G. (2009) Braess's Paradox in Large Random Graphs. Random Struct. Algorithms. Vol. 37(4). Pp. 495–515.

References

1. Blinkin M. Ya., Tkachenko B. A. *Sistemnaya otsenka usloviy dvi-zheniya na baze modeli Khermana-Prigozhina* [Systemic assessment of the movement conditions on the basis of the Herman-Prigozhin model]. *Trudy XV Mezhdunarodnoy nauch.-prakt. konf. «Sotsial'no-ekonomicheskie problemy razvitiya transportnykh sistem gorodov i zon ikh vliyaniya (Ekaterinburg, 16-17 iyunya 2009 g.)»* [Proc. of the XV Int. sci.-pract. conf. "Socio-economic problems of the development of transport systems of cities and zones of their influence (Yekaterinburg, June 16–17, 2009)"]. Ekaterinburg, ABM Publ., 2009, pp. 135–143.
2. Boyarkina E. F., Zakharov N. S. *Zakonomernosti formirovaniya kolichestva legkovykh avtomobiley na ulichno-dorozhnoy seti goroda* [Regularities of the formation of the vehicle quantity on the street-road traffic network of the city]. Tyumen', TyumGNGU Publ., 2011, 160 p.
3. Gasnikov A., Dorn Yu., Prokhorov A., Shvetsov V. *Kak borot'sya s probkami* [How to manage the problem of traffic jams]. *Troitskiy Variant*, 2012, no. 23 (117), pp. 6–7.
4. Golovnykh I. M., Mikhaylov A. Yu. *Sovremennye tendentsii pro-ektirovaniya i rekonstruktsii ulichno-dorozhnykh setey gorodov* [Modern tendencies of designing and reconstruction of street and road traffic networks of cities]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2004, 267 p.
5. Gorbunov R. N., Gorbunova Z. V., Mikhaylov A. Yu. *Uroven' ob-sluzhivaniya kak pokazatel' nadyozhnosti ulichno-dorozhnoy seti* [The level of service as an indicator of the reliability of the street and road network]. *Mir transporta – Transport World*, 2018, vol. 16, no. 4(77), pp. 194–203.
6. Gorbunov R. N., Mikhaylov A. Yu., Pirov Zh. T. *Otsenka urovnya obsluzhivaniya na osnove kriteriev nadezhnosti* [Evaluating the service level based on the reliability criteria]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Journal of Irkutsk State Technical University*, 2017, no. 10, pp. 188–194.
7. Levashev A. G., Mikhaylov A. Yu., Sharov M. I. *Sovremennye metody otsenki kachestva organizatsii*

dorozhnogo dvizheniya v gorodakh [Modern methods of assessing the quality of traffic management in cities]. Irkutsk, 2015, 218 p.

8. Levashev A. G., Sharov M. I. *Razvitie kriteriev otsenki kachestva obsluzhivaniya na gorodskom passazhirskom transporte* [Developing the criteria for assessing the quality of service at urban passenger transport]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Journal of Irkutsk State Technical University*, 2015, no. 7, pp. 174–178.

9. Rummyantsev E. A. *Ob ehffektivnosti kriteriev dlya otsenki uslo-viy dvizheniya transportnykh potokov* [On the effectiveness of criteria for assessing the conditions of traffic flows]. *Trudy IX Mezhdunarodnoy konf. «Organizatsiya bezopas-nosti dorozhnogo dvizheniya Sankt-Peterburg, sent. 2010 g.»* [Proc. of the International Conf. “Organization of road safety (St. Petersburg, September 2010)”]. St. Petersburg, 2010, pp. 121–123.

10. Teben'kov S. E. *Razvitie metodov monitoringa transportnykh potokov dlya operativnogo upravleniya dorozhnym dvizheniem na magistralyakh. Avtoref. dis. kand.tekhn.nauk* [Development of methods for monitoring

traffic flows for operational traffic management on highways. Author's thesis of PhD in Sci. Tech.]. Irkutsk, IrGTU Publ., 2013, 20 p.

11. Bennecke A., Friedrich B., Friedrich M., Lohmiller J. (2011). *Time-dependent service quality of network sections. Highway capacity and quality of service (June 28–July 1 of 2011)*. Proc. of. the 6th International Symposium. Stockholm, Sweden, pp. 364–373.

12. Bertini R. L., Lyman K. (2008). Using travel time reliability measures to improve regional transportation planning and operations. Washington, *Transportation Research Record*, vol. 2046, pp. 1–10.

13. Bureau of Transportation Statistics. United States Department of Transportation *site 2019*. Available at: <https://www.bts.gov/content/travel-time-index> (accessed: 06.06.2019).

14. Chang J. S. (2010) Assessing travel time reliability in transport appraisal. *J. of Transport. Geography*, vol. 18, pp. 419–425.

15. Roughgarden T., Valiant G. (2009). Braess's paradox in large random graphs. *Random struct. Algorithms*, vol. 37(4), pp. 495–515.