

ТРАНСПОРТНЫЕ НАУКИ

УДК 656.02

DOI: 10.25198/2077-7175-2019-7-103

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПЕРИОДИЧНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ НА ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕННОГО И БУФЕРНОГО ИНДЕКСОВ

Р.Н. Горбунов¹, З.В. Горбунова², А.Ю. Михайлов³

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

¹e-mail: gorbunow@list.ru

²e-mail: flocean@mail.ru

³e-mail: mikhaylovay@gmail.com

Аннотация. В связи с растущим уровнем автомобилизации при сохранении пропускной способности действующих автомобильных дорог, а также в связи с необходимостью проектирования и строительстве новых, вопрос об оценке качества и надежности организации дорожного движения становится всё более актуальным.

Целью проводимых исследований является определение влияния периодичности проведения измерений на точность определения временного и буферного индексов.

Для достижения поставленной цели была разработана математическая модель, описывающая суточную динамику времени передвижения по маршруту с учетом возможного наличия светофорного объекта и нерегулируемого пешеходного перехода. На основании данных математической модели случайным образом была смоделирована одна тысяча различных вариантов суточной динамики времени передвижения по маршрутам с учетом наличия помех движению светофорным объектом и нерегулируемым пешеходным переходом и одна тысяча различных вариантов суточной динамики времени передвижения по маршрутам без помех. Из смоделированных суточных динамик была сделана выборка с периодичностью от одной до шестидесяти минут данных о времени передвижения.

Для каждой выборки и варианта суточной динамики были рассчитаны временной и буферный индексы и произведено сравнение их значений со значением индексов при максимальном объеме выборки. Далее были установлены отклонения значений индексов при увеличении интервалов проведения замеров. На основании выявленной зависимости были предложены максимальные временные интервалы для определения временного и буферного индекса с 95% точностью, при условии наличия нерегулируемого пешеходного перехода и светофорного объекта и при их отсутствии.

Кроме того, исследование показало, что на полученный результат замеров влияет возможность совпадения или полного несовпадения выбранных интервалов измерений с интервалами изменения параметров движения на выбранном маршруте.

Дальнейшие исследования должны предполагать выявление зависимости и степени влияния различных объектов, условий движения и других параметров на точность проводимых измерений при различной периодичности, а также проведение апробации полученных результатов.

Ключевые слова. Улично-дорожная сеть, суточная динамика, моделирование, уровень обслуживания, временной индекс, буферный индекс.

Для цитирования: Горбунов Р. Н., Горбунова З. В., Михайлов А. Ю. Анализ влияния периодичности проведения измерений на точность определения временного и буферного индексов // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2019. – № 7. – С. 103–111. DOI: 10.25198/2077-7175-2019-7-103.

ANALYSIS OF THE EFFECT OF PERIODICITY OF MEASUREMENTS ON THE POINT OF DETERMINATION OF THE TRAVEL TIME AND BUFFER INDICES

R.N. Gorbunov¹, Z.V. Gorbunova², A.Y. Mikhailov³

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

¹e-mail: gorbunow@list.ru

²e-mail: flocean@mail.ru

³e-mail: mikhaylovay@gmail.com

Abstract. Due to the growing level of motorization while maintaining the capacity of existing roads, as well as due to the need to design and build new ones, the question of assessing the quality and reliability of traffic management is becoming increasingly relevant.

The aim of the research is to determine the effect of the frequency of measurements on the accuracy of determining the travel time and buffer indices.

To achieve this goal, a mathematical model was developed that describes the daily dynamics of travel time along the route, taking into account the possible presence of a traffic light object and an unregulated pedestrian crossing. Based on the data of the mathematical model, one thousand different variants of the daily dynamics of travel time along routes taking into account the presence of a traffic light and unregulated pedestrian crossing and one thousand different variants of the daily dynamics of travel time along routes without interference were randomly modeled. From the simulated diurnal dynamics, a sampling was made with a frequency of one to sixty minutes of data on the time of movement.

For each sample and daily dynamics variant, the travel time and buffer indices were calculated and their values were compared with the index values at the maximum sample size. Further, deviations of the index values were established with an increase in the intervals of measurements. Based on the revealed dependence, the maximum time intervals were proposed for determining the travel time and buffer index with 95% accuracy, subject to the presence of an unregulated pedestrian crossing and traffic light object and in their absence.

In addition, the study showed that the obtained measurement result is affected by the possibility of coincidence or complete mismatch of the selected measurement intervals with the intervals of changes in the motion parameters on the selected route.

Further research should include identifying the dependence and degree of influence of various objects, traffic conditions and other parameters on the accuracy of measurements at various intervals, as well as testing the results.

Keywords: street-road network, daily dynamics, modeling, level of service, travel time index, buffer index.

Cite as: Gorbunov, R.N., Gorbunova, Z.V., Mikhailov, A.Y. (2019) [Analysis of the effect of periodicity of measurements on the point of determination of the travel time and buffer indices]. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii* [Intellect. Innovation. Investments]. Vol. 7, pp. 103-111. DOI: 10.25198/2077-7175-2019-7-103.

Введение

В связи с растущим уровнем автомобилизации при сохранении пропускной способности действующих автомобильных дорог, а также в связи с необходимостью проектирования и строительством новых, вопрос об оценке качества и надежности организации дорожного движения становится всё более актуальным [1–15]. Согласно Федерального закона от 29 декабря 2017 года № 443-ФЗ «Об организации дорожного движения в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» к полномочиям органов государственной власти Российской Федерации в области организации дорожного движения относится установление порядка определения основных параметров дорожного движения, ведения их учета, использования учетных сведений и формирования отчетных данных в области организации дорожного движения. В числе параметров, предлагаемых законом к рассмотрению, отражены временной индекс (ТТi) и буферный индекс (Ib).

Данные индексы используются и в зарубежной практике для оценки качества функционирования улично-дорожной сети (УДС). Для расчета временного индекса применяются различные методики [6, 12, 13, 15], используются показатели времени перемещения 15, 85, 95% обеспеченности или же значения времени передвижения в пиковый период и в свободных условиях. Расчет указанных индексов требует большого объема данных о времени передвижения автомобилей на участках УДС в те-

чении суток. Источником таких данных может быть навигационное оборудование, расположенное в автомобилях. В связи с существующими на данный момент сложностями с получением таких данных от частных пользователей данная задача может решаться использованием автомобилей-лабораторий, проезжающих по оцениваемым участкам. Расходы на проведение таких исследований напрямую зависят от количества проводимых измерений с определенной периодичностью. Для этого необходимо оценить влияние периодичности проведения замеров на точность определения временного и буферного индексов с учетом возможности влияния помех движению автомобилей. Таким образом целью проводимых исследований стало определение влияния периодичности проведения измерений на точность определения временного и буферного индексов.

Подходы к минимизации трудоемкости определения индексов.

Для расчёта индексов воспользуемся методикой, предложенной Бюро транспортной статистики США [13], согласно которой индекс определяется по формуле:

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

где

T_p – затраты времени на передвижение в пиковый период;

T_{ff} – затраты времени на передвижение в свободных условиях.

Буферный же индекс 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.

Определения указанных индексов предполагают наличие выборки замеров, на основании которой определяются значимые для расчета показатели. Выборка может быть сформирована на основе натурных замеров или на основании базы данных треков, полученных с навигационного оборудования, расположенного в автомобилях. Существует два подхода к минимизации трудоемкости определения указанных индексов.

Первый подход заключается в получении минимального объема выборки, например, для расчёта временного индекса достаточно получить всего два трека: первый трек, записанный в пиковый период, и второй трек, записанный в свободных условиях. Если со свободными условиями всё более-менее понятно, в вечернее-ночное время поток машин минимален, то главной проблемой реализации данного подхода является определение момента, в который должен быть записан трек, описывающий состояние УДС в пиковые периоды. Эта же проблема касается и буферного индекса.

Второй подход заключается в определении минимального объема репрезентативной выборки (периодичности проведения замеров или записи треков), достаточного для определения индексов с допустимой погрешностью. Кроме того, следует оценивать влияния различных факторов, способных влиять на значение времени передвижения по маршруту (светофорный объект, нерегулируемый пешеходный переход (далее НПП), погодные условия и т. п.), на минимальный объем выборки.

Вариативная модель суточной динамики времени прохождения по маршруту

Для решения задачи, поставленной вторым подходом, была подготовлена вариативная модель суточной динамики времени прохождения по маршруту на базе Microsoft Excel, представляющая собой взаимосвязанные таблицы и макросы в среде VBA, с помощью которых на основе представленных ниже условий формируется суточная динамика времени прохождения автомобиля по маршруту и происходит дальнейшая обработка полученных результатов.

В основу модели легли исходные условия, которые сформулированы на основе анализа уже имеющейся базы данных треков:

1. Свободные условия движения по маршруту в период с 0:00 до 7:30 и с 21:00 до 23:59.

2. Пиковые нагрузки приходятся на 8:30 и 18:30 ($\pm$ несколько минут).

3. В период с 7:30 до 8:30 и с 17:30 до 18:30 происходит увеличение интенсивности движения и возрастает время прохождения по маршруту до пиковых значений.

4. В период с 8:30 до 9:30 и с 18:30 до 19:30 происходит снижение интенсивности движения и снижается время прохождения по маршруту с пиковых значений.

5. В период с 9:30 до 17:30 интенсивность движения выше, чем в свободных условиях, можно задать коэффициент увеличения времени прохождения по маршруту.

6. В период с 19:30 до 21:00 интенсивность движения выше, чем в свободных условиях, но происходит плавное снижение интенсивности. Можно задать коэффициент увеличения времени прохождения по маршруту в 19:30.

7. Увеличение и снижение времени прохождения по маршруту в указанные периоды происходит нелинейно.

8. Для отражения влияния случайных параметров модель предусматривает использование генератора случайных чисел, который задает:

- Минимально допустимое время прохождения по маршруту.
- Максимально допустимое время прохождения по маршруту.
- Отклонения измеряемых (моделируемых) значений времени движения на случайную величину из заданного диапазона для каждого измерения.

9. Модель предусматривает возможность создания помех движению светофорным объектом и/или НПП на маршруте или участке УДС.

10. Светофорный объект и НПП периодически увеличивают время прохождения маршрута на случайные величины из заданного диапазона.

Для проведения эксперимента в модель были заложены следующие исходные параметры:

1. Идеальное (расчетное) время прохождения по маршруту – случайное число из диапазона 50–150 секунд.

2. В период с 9:30 до 17:30 время прохождения по маршруту больше на случайное значение из диапазона 20–50% для каждого из замеров.

3. Время прохождения по маршруту в 19:30 увеличено на случайное значение из диапазона 10–30% относительно времени прохождения по маршруту в свободных условиях и нелинейно снижается при каждом замере в интервале времени до 21:00.

4. Максимальное время прохождения по маршруту (пиковые периоды) может быть случайной величиной в размере до 4-х кратного времени прохождения по маршруту в свободных условиях (без учета случайных отклонений).

5. Возможно увеличение измеряемых (моделируемых) значений времени движения в период с 0:00 до 9:30 и в период с 17:30 до 23:59 на случайную величину в размере до 10%.

6. Возможно увеличение измеряемых (моделируемых) значений времени движения в период с 9:30 до 17:30 на случайную величину до 20%.

7. В эксперименте с размещенным светофорным объектом и НПП, светофорный объект

увеличивает время прохождения по маршруту в период с 7:00 до 22:00 каждые 3 минуты на случайную величину от 0 до 60 секунд, НПП увеличивает время прохождения по маршруту в период с 8:30 до 20:00 каждую минуту на случайную величину до 15 сек.

Примеры суточной динамики времени передвижения для варианта без помех и в случае их наличия представлены на рис. 1, 2.



Рисунок 1. Суточная динамика времени передвижения без учета светофорного объекта и НПП

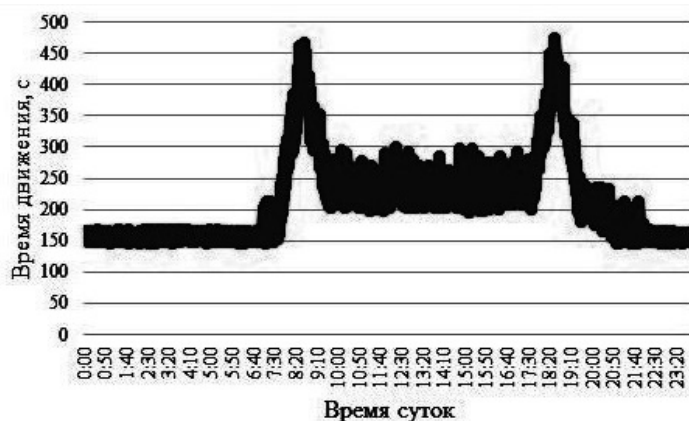


Рисунок 2. Суточная динамика времени передвижения с учетом наличия светофорного объекта и НПП

Проведение эксперимента

Для проведения эксперимента на основе вариативной модели определим показатель допустимой погрешности в размере 5%. С помощью модели были сгенерированы случайным образом 1000 вариантов маршрутов и прохождения по ним в течение суток без размещения объектов, вызывающих помехи для движения, то есть без размещения светофорного объекта и НПП, а затем 1000 вариантов с учетом их размещения.

Для каждого сгенерированного варианта были проведены замеры времени прохождения по маршруту (записан трек) со следующей периодичностью 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 18, 20, 25, 30, 45, 60 минут для каждого варианта. Далее были опре-

делены значения временного и буферного индексов на основании данных, полученных при различных периодичностях измерения (табл. 1).

Как показали исследования, наличие светофорного объекта и НПП вносят значительные отклонения в суточную динамику результатов измерений. На основе собранных данных для каждого смоделированного маршрута были рассчитаны TTi и Ib .

Далее было рассчитано относительное отклонение значений индексов для каждого числа измерений относительно значений индексов при ежесекундном измерении для каждого смоделированного варианта маршрута, поскольку данные, полученные при измерении с периодичностью в 1 минуту, являются наиболее достоверными.

Найдено среднее значение отклонений полученных результатов от результатов, полученных при ежеминутном измерении, для каждой периодичности измерений для варианта без учета помех.

Из рассматриваемых значений были исключены данные, выбивающиеся из общего тренда, полученные при 30 минутных интервалах замеров. Данное отклонение может быть объяснено тем, что в модели значимые для расчетов показатели, приходится

на периоды, кратные 30 минутам. В случае реальных измерений, попадание в выборку значимых показателей менее вероятно, что может быть подтверждено, если обратить внимание на показатели, полученные при 25 минутном интервале измерений.

Результаты эксперимента

Проведя статистический анализ данных, получим зависимость, описываемую формулами:

$$F_{tti}(x) = -0,00005x^2 - 0,0013x - 0,011, \text{ при } R^2 = 95,51\%, \quad (3)$$

$$F_{iba}(x) = -0,00009x^2 - 0,0019x - 0,0217, \text{ при } R^2 = 94,47\%, \quad (4)$$

где

$F(x)$ – относительное отклонение получаемого результата при заданной периодичности,
 x – временной интервал между проведением замеров, мин.

Выбор полиномиальной зависимости обусловлен максимальным значением коэффициента де-

терминации. Динамика зависимости точности определения TTi и Ib при различных интервалах проведения замеров при отсутствии светофорного объекта и НПП представлена на графиках, рисунок 3, 4.

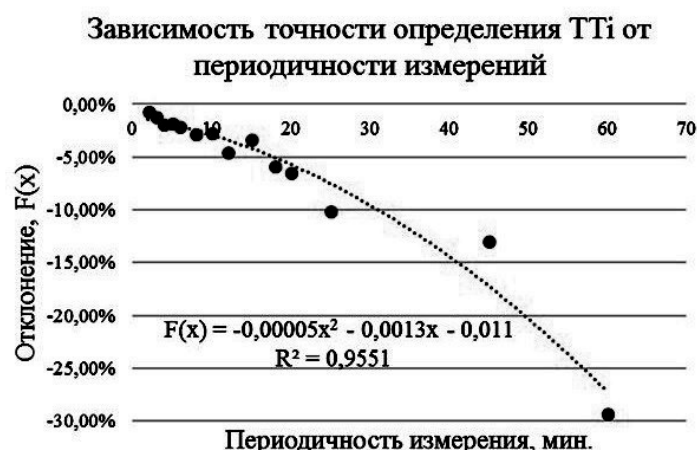


Рисунок 3. Динамика зависимости точности определения TTi при различных интервалах проведения замеров при отсутствии светофорного объекта и НПП



Рисунок 4. Динамика зависимости точности определения Ib при различных интервалах проведения замеров при отсутствии светофорного объекта и НПП

На рисунках 3, 4 видно, что прослеживается динамика снижения точности определения индексов в связи с увеличением интервалов измерений.

Полученная зависимость показывает результаты обработки результатов, полученных на основе работы вариативной модели, описание которой представлено ранее в настоящей работе. Полученные зависимости необходимы для определения интервалов, требующихся для оценки временного и буферного индекса с требуемой точностью.

На основе полученных зависимостей, в случае отсутствия на исследуемом маршруте светофорного объекта и НПП для определения показателей $T\bar{T}i$ и Ib в среднем, с 95% точностью необходимо проводить измерения для $T\bar{T}i$ не более чем с 18 минутным интервалом, для измерения Ib не более чем с 10 минутным интервалом.

При моделировании с учетом наличия светофорного объекта и НПП были определены среднее значение отклонений для каждого количества измерений при различной периодичности измерений.

Наблюдается высокий разброс полученных показателей, что может быть объяснено заданной

периодичностью работы светофорного объекта и НПП и возможностью их высокой степени влияния на время перемещения по маршруту.

При этом заметим, что дисперсия для двух индексов проявляется по-разному: так, для временного индекса интервал измерения в 3 минуты совпадает с периодичностью работы светофорного объекта, таким образом отсутствуют отклонения при минутном и трехминутном интервалах измерений, при расчете $T\bar{T}i$; в тоже время при расчете Ib из расчета среднего времени движения в дневной период исключаются данные, собранные в периоды, когда светофорный объект не влияет на время прохождения по маршруту, что влияло на расчет значения среднего времени прохождения маршрута, это привело к значительным отклонениям в полученных результатах. Об измерениях с 30 минутной периодичностью мы говорили ранее.

Исключив отклонения по интервалам измерения в 3 и 30 минут и проведя статистический анализ данных, получим зависимости, описываемые формулами:

$$F_{tti}(x) = -0,00001x^2 - 0,0028x - 0,0252, \text{ при } R^2 = 81,15\%, \quad (5)$$

$$F_{ib}(x) = 0,000003x^2 - 0,0072x - 0,0644, \text{ при } R^2 = 86,54\%, \quad (6)$$

где

$F(x)$ – относительное отклонение получаемого результата при заданной периодичности,

x – временной интервал между проведением замеров, мин.

Выбор полиномиальной зависимости обуслов-

лен максимальным значением коэффициента детерминации. Динамика зависимости точности определения $T\bar{T}i$ при различных интервалах проведения замеров при наличии светофорного объекта и НПП представлена на графике, рисунок 5.

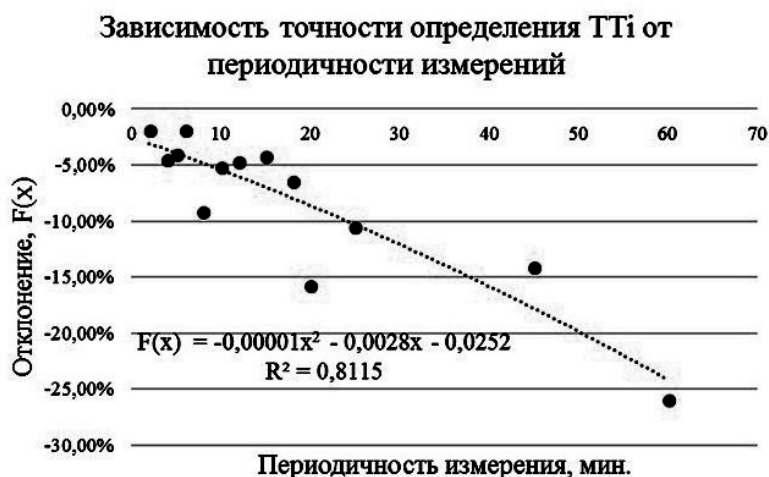


Рисунок 5. Динамика зависимости точности определения $T\bar{T}i$ при различных интервалах замеров при наличии светофорного объекта и НПП

Что касается буферного индекса, то здесь наблюдается похожая картина. Исключив из рассмотрения наиболее выбивающиеся из тренда значе-

ния, по описанным ранее причинам получим зависимость, рисунок 6



Рисунок 6. Динамика зависимости точности определения I_b при различных интервалах проведения замеров при наличии светофорного объекта и НПП

На основе полученных зависимостей, для измерений с точностью до 95% в случае наличия НПП и светофорного объекта на рассматриваемом маршруте необходимо проводить измерения для ТТИ не более чем с 9 минутным интервалом, для измерения I_b не более чем с 2 минутным интервалом.

Полученные в ходе исследований зависимости показывают, что наиболее чувствительным к наличию помех оказался буферный индекс, для которого требуемая периодичность измерений снизилась в 5 раз, с 10 до 2 минутного интервала. В то же время требуемая периодичность измерения для временного индекса снизилась в 2 раза, с 18 до 9 минут. Минимальное количество замеров в сутки, необходи-

мое для расчета индексов с достаточной точностью, представлено в таблице 1.

Исходя из смысла каждого из рассматриваемых индексов, можно сделать дополнительно следующие предложения по оптимизации проведения реальных измерений. Для временного индекса значимыми являются значения времени движения по маршруту в свободных условиях и в период пиковой нагрузки, то есть наименьшие и наибольшие показатели времени, таким образом, необходимо провести несколько замеров в свободных условиях для того, чтобы определить минимальное время, а затем проводить замеры в пиковые периоды с интервалом не более, чем интервалы, приведённые в таблице 1.

Таблица 1. Рекомендованная периодичность измерений и количество замеров в течение суток

Индекс	Условия движения			
	Помехи отсутствуют		Помехи светофорных объектов и НПП	
	интервал измерений, мин.	количество замеров в сутки	интервал измерений, мин.	количество замеров в сутки
Временной	18	80	9	160
Буферный	10	144	2	720

Для буферного индекса значимыми являются наибольший и средний показатель времени движения по маршруту, таким образом, оптимизация обследования может быть достигнута путем увеличения периодов измерений во внепиковые периоды, когда с достаточной степенью надежности мы можем экстраполировать полученные результаты на более продолжительный период времени для расчета средней скорости движения, например, в ночное время, когда условия движения меняются не значительно и могут считаться свободными.

Заключение

Научная новизна данной работы заключается в определении зависимости точности расчета временного и буферного индекса в зависимости от пе-

риодичности проведения замеров.

В ходе исследования было установлено, что на точность определения временного и буферного индекса также оказывает возможное совпадение периодичности измерения с периодичностью работы светофорных объектов и интервалами изменения параметров движения на выбранном маршруте.

Как показало исследование периодичность замеров для временного индекса составляет 18 минут в случае отсутствия помех и 9 минут при их наличии. Для буферного индекса 10 и 2 минуты соответственно.

Полученные результаты могут быть учтены при сборе данных для оценки временного и буферного индексов автомобилями-лабораториями с заданной точностью.

Литература

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: науч. мат. XV международной научно-практической конф. (Екатеринбург, 16–17 июня 2009 г.). – Екатеринбург : Изд-во АБМ, 2009. – С. 135–143.
2. Горбунов Р. Н., Горбунова З. В., Михайлов А. Ю. Уровень обслуживания как показатель надёжности улично-дорожной сети // Мир транспорта. – 2018. – № 4 (77). – Т. 16. – С. 194–203.
3. Горбунов Р. Н., Михайлов А. Ю., Пиров Ж. Т. Оценка уровня обслуживания на основе критериев надёжности // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2017. – № 10. – С. 188–194.
4. Захаров Н. С., Бояркина Е. Ф. Закономерности формирования количества легковых автомобилей на улично-дорожной сети города – Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. – 160 с.
5. 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.
6. Левашев А. Г., Михайлов А. Ю., Шаров М. И. Современные методы оценки качества организации дорожного движения в городах. – Иркутск, 2015. – 218 с. Деп. в ВИНТИ РАН 31.03.2015, № 64-B2015.
7. Пиров Ж. Т. Сегмент при оценке качества организации дорожного движения на УДС (на примере г. Душанбе) // Организация и безопасность дорожного движения: мат. XII нац. научно-практ. конф. с международным участием (Тюмень, 14 марта 2019 г.). – Тюмень : ТИУ, – С. 289–294.
8. Полтавская Ю. О. Надёжность как показатель эффективного функционирования транспортной системы // Транспорт России: проблемы и перспективы: мат. межд. науч.-практ. конф. (Санкт-Петербург, 13–14 ноября 2018 г.). – Санкт-Петербург. – С. 206–209.
9. Полтавская Ю. О. Повышение пропускной способности и уровня обслуживания в транспортной теории // Современные технологии и научно-технический прогресс. – 2019. – Т. 1. – С. 200–201.
10. Румянцев Е. А. Об эффективности критериев для оценки условий движения транспортных потоков // Организация безопасности дорожного движения: сб. докл. IX междунар. конф. (Санкт-Петербург, сент. 2010 г.). – Санкт-Петербург. – С. 121–123.
11. Тебеньков С. Е. Развитие методов мониторинга транспортных потоков для оперативного управления дорожным движением на магистралях: автореф. дисс. канд. техн. наук: 05.22.10. – Иркутск: ИрГТУ, 2013. – 20 с.
12. Bennecke A., Friedrich B., Friedrich M., Lohmiller J. (2011) [Time-dependent Service Quality of Network Sections] Highway Capacity and Quality of Service 2011 (June 28 – July 1): Proc. of the 6th International Symposium. Stockholm, Sweden, pp. 364–373.
13. Bureau of Transportation Statistics (2018) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.bts.gov/content/travel-time-index> (дата обращения: 06.05.2018) (In Eng.).
14. Transportation research board (2016) [Highway Capacity Manual 6th Edition: A Guide for Multimodal Mobility Analysis] Transportation research board. Washington, USA. 649 p.
15. United States Department of Transportation – Federal Highway Administration (2013). Travel Time Reliability: Making It There On Time, All The Time. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ops.fhwa.dot.gov/publications/tt_reliability/TTR_Report.htm / (дата обращения: 15.05.2019) (In Eng.).

References

1. Blinkin, M.YA., Tkachenko B. A. (2009) [Systematic assessment of traffic conditions based on the Herman-Prigogine mode]. *Social'no-ekonomicheskie problemy razvitiya transportnyh system gorodov i zoni ih vliyaniya* [Socio-economic problems of the development of transport systems of cities and zones of their influence]. Ekaterinburg: Ekaterinburg :Publ.house ABM, pp. 135–143. (In Russ.)
2. Gorbunov, R.N., Gorbunova, Z.V., Mihajlov, A.YU. (2018) [Current trends in the design and reconstruction of urban road networks]. *Mir transporta* [World of transport]. Vol. 16, No 4(77), pp. 194–203. (In Russ.).
3. Gorbunov, R.N., Mihajlov, A.YU., Pirov, ZH.T. (2017) [Service level assessment based on reliability criteria]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Irkutsk State Technical University]. Vol. 10, pp. 188–194. (In Russ.).
4. Zaharov, N.S., Boyarkina E.F. (2011) *Zakonomernosti formirovaniya kolichestva legkovykh avtomobilej naulichno-dorozhnoj seti goroda* [Patterns of forming the number of cars on the city's road network]. Tyumen': Tyum GNGU, 160 p.
5. Levashev, A.G., Sharov, M.I. (2015) [Development of criteria for assessing the quality of service in city pass-fat transport]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Irkutsk State Technical University]. Vol. 7, pp. 174–178. (In Russ.).

6. Levashev, A.G., Mihajlov, A.YU., Sharov, M.I. (2015) *Sovremennyye metody ocenki kachestva organizatsii dorozhnogo dvizheniya v gorodakh* [Modern methods for assessing the quality of traffic management in cities]. Irkutsk, 218 p.
7. Pirov, J.T. (2019) [Segment in assessing the quality of traffic management at the UDS (for example, Dushanbe)] *Organizatsiya i bezopasnost dorozhnogo dvizheniya* [Organization and traffic safety]. Tumen: TIU, pp. 289-294. (In Russ.).
8. Poltavskaya, J.O. (2018) [Reliability as an indicator of the effective functioning of the transport system]. *Transport Rossii: problemy i perspektivy* [Transport of Russia: problems and prospects]. Saint Peterburg: Saint-Peterburg, pp. 206-209. (In Russ.).
9. Poltavskaya, J.O. (2019) [Increased throughput and service levels in transport theory]. *Sovremennyye tekhnologii i nauchno-tekhnicheskij progress* [Modern technologies and scientific and technological progress]. Vol. 1, pp. 200-201. (In Russ.).
10. Romyancev, E.A. (2010) [On the effectiveness of criteria for assessing traffic conditions]. *Organizatsiya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya* [Organization of road safety]. Saint Peterburg: Saint-Peterburg, pp. 121-123.
11. Teben'kov, S.E. (2013) *Razvitie metodov monitoring transportnyh potokov dlya operativnogo upravleniya dorozhnym dvizheniem na magistralyah*. Dok.Diss.[Development of methods for monitoring traffic flows for operational traffic control on highways. Doc.Diss]. Irkutsk, 20 p.
12. Bennecke, A., Friedrich, B., Friedrich, M., Lohmiller, J. (2011) Time-dependent Service Quality of Network Sections. *Highway Capacity and Quality of Service. Proc. of the 6th International Symposium*. Stockholm, Sweden, pp. 364-373. (In Engl.).
13. Bureau of Transportation Statistics (2018). Available at: <https://www.bts.gov/content/travel-time-index> (accessed 06.05.2018) (In Eng.).
14. Transportation research board (2016) Highway Capacity Manual 6th Edition: A Guide for Multimodal Mobility Analysis. *Transportation research board. Washington, USA*. 649 p. (In Eng.).
15. United States Department of Transportation – Federal Highway Administration (2013). Travel Time Reliability: Making It There On Time, All The Time. Available at: https://ops.fhwa.dot.gov/publications/tt_reliability/TTR_Report.htm / (accessed 15.05.2019) (In Eng.).

Информация об авторах:

Роман Николаевич Горбунов, аспирант, направление подготовки 23.06.01. Техника и технологии наземного транспорта, Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

e-mail: gorbunow@list.ru

Зинаида Васильевна Горбунова, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры автомобильного транспорта, Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

e-mail: flocean@mail.ru

Александр Юрьевич Михайлов, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры автомобильного транспорта, Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

e-mail: mikhaylovay@gmail.com

Статья поступила в редакцию 02.08.2019; принята в печать 29.10.2019.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Information about the authors:

Roman Nikolaevich Gorbunov, Postgraduate Student, Direction of training 23.06.01. Land transport Engineering and Technology, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

e-mail: gorbunow@list.ru

Zinaida Vasilievna Gorbunova, Candidate of Economical Sciences, Associate Professor, Associate Professor, Department of Road Transport, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

e-mail: flocean@mail.ru

Alexander Yuryevich Mikhailov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Road Transport, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

e-mail: mikhaylovay@gmail.com

The paper was submitted: 02.08.2019.

Accepted for publication: 29.10.2019.

The authors have read and approved the final manuscript.